

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **“Обґрунтування параметрів тягово-зчіпного пристрою одновісного автомобільного причепа”**

Виконав: студент

6 курсу, групи МАм-63

спеціальності

274 Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

Мандзин Ю.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дзюра В.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хорошун Р.В.

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

(підпис)

Цьонь О.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Буховець В.М.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«11» листопада 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

студенту Мандзин Юрію Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів тягово-зчіпного пристрою одновісного автомобільного причепа

Керівник роботи Дзюра В.О., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2024 року № 4/7-1080

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи конструкція тягово-зчіпного пристрою одновісного причепа

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Типи та компоновальні схеми автопоїздів. 2. Динамічний коридор.

3. Основні конструкції ТЗП. 3.1. Кульові ТЗП. 3.2. Тягово-зчіпні пристрої типу гак-петля.

3.3 ТЗП типу петля-шворень. 4. Конструкція автомобільного причепа.

5. Використання принципу нахилу осі повороту в техніці.

6. Конструкторсько - технологічне обґрунтування запропонованого ТЗП.

7. Конструкція зі змінним кутом нахилу шворня. 8. Створення реальної моделі зі стабілізуючим

ТЗП. 9. Математична модель тягово-зчіпного пристрою. 10. Дослідження стабілізуючих

моментів. 11. Охорона праці при розробці та виготовленні ТЗП.

12. Безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Динамічний коридор автопоїзда А1.

Типи ТЗП 2А1.

Схема стабілізуючого тягово-зчіпного пристрою А1.

Загальний вигляд конструкції А1.

Розрахункова схема А1.

Експериментальні дослідження А1.

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 11.11.2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Мандзин Ю.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Дзюра В.О.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	7
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	
1.1. Типи та компоновальні схеми автопоїздів	9
1.2. Динамічний коридор	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
2.1. Основні конструкції ТЗП	20
2.1.1 Кульові ТЗП	20
2.1.2 Тягово-зчіпні пристрої типу гак-петля	22
2.1.3 ТЗП типу петля-шворень	24
2.2 Конструкція автомобільного причепа	25
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Використання принципу нахилу осі повороту в техніці	35
3.2. Конструкторсько - технологічне обґрунтування запропонованого ТЗП	40
3.3 Конструкція зі змінним кутом нахилу шворня	46
3.4 Створення реальної моделі зі стабілізуючим ТЗП	51
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	
4.1. Математична модель тягово-зчіпного пристрою	55
4.2. Дослідження стабілізуючих моментів	60
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
5.1. Охорона праці при розробці та виготовленні ТЗП	62
5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

РЕФЕРАТ

У роботі досліджено питання підвищення безпеки та стійкості автомобільних поїздів за допомогою нових конструкцій тягово-зчіпних пристроїв (ТЗП). Поставленою метою є розробка і обґрунтування ефективного стабілізуючого ТЗП для одновісних причепів, який дозволить знизити ризики втрати стійкості автопоїздів у динамічних умовах.

У першому розділі представлено аналіз існуючих типів і конструвальних схем автопоїздів. Розглянуто їхні особливості та параметри, що впливають на поведінку транспортного засобу під час руху. Особливу увагу приділено поняттю динамічного коридору, який визначає ширину смуги, необхідну для безпечного маневрування автопоїзда, зокрема під час поворотів та різких змін напрямку руху.

Другий розділ присвячено розгляду основних конструкцій тягово-зчіпних пристроїв. Описано кульові ТЗП, які широко використовуються на легкових автомобілях, з їхніми перевагами та недоліками. Детально проаналізовано гакові тягово-зчіпні пристрої, що характеризуються високою надійністю, а також ТЗП типу петля-шворень, які є популярними в міжнародній практиці для буксирування важких вантажів.

Також у цьому розділі описано конструкцію автомобільного причепа. Розглянуто особливості рами, дишла та підвіски, які впливають на загальну стійкість і маневреність автопоїзда.

У третьому розділі досліджено принципи нахилу осі повороту, які активно застосовуються в техніці, зокрема в автомобільній промисловості. Розглянуто вплив цього параметра на стійкість і керованість транспортних засобів.

Розроблено конструкторсько-технологічне обґрунтування запропонованого ТЗП, зокрема конструкцію зі змінним кутом нахилу шворня, яка забезпечує стабілізуючий вплив під час руху. Описано створення

реальної моделі пристрою та результати її випробувань, що підтверджують ефективність запропонованого рішення.

У науково-дослідному розділі розроблено математичну модель тягово-зчіпного пристрою. Модель дозволяє аналізувати сили і моменти, що виникають під час маневрування та прямолінійного руху. Проведено дослідження стабілізуючих моментів, які виникають у запропонованій конструкції, та проаналізовано їх вплив на стійкість автопоїзда.

Загальні результати дослідження свідчать про значне підвищення безпеки руху та зниження ризику розгойдування причепа. Розроблений стабілізуючий ТЗП може бути успішно впроваджений у виробництво для покращення експлуатаційних характеристик легкових автомобілів із причепами.

ВСТУП

Автомобільний транспорт відіграє ключову роль в економічному розвитку будь-якої країни, зокрема й України. Він забезпечує мобільність вантажів та людей, що є основою для розвитку таких галузей, як промисловість, будівництво, сільське господарство та інших. Вдосконалення транспортної інфраструктури напряду впливає на ефективність економіки, і тому є важливим чинником її зростання.

Сучасний автомобіль має відповідати високим стандартам безпеки, які останнім часом стали ще більш суворими. За останнє десятиліття було зроблено великий акцент на покращенні активної безпеки: від систем, що допомагають утримувати автомобіль у смузі, до автоматичних гальмівних систем. Однак незважаючи на ці досягнення, безпека руху легкових автомобілів із причепами залишається сферою, де необхідно зробити значні покращення.

Легкові причепа були популярні з моменту появи автомобілів, але їх конструкція майже не зазнала змін за останні півстоліття. У той час як вантажні причепа і напівпричепа поступово оснащували сучасними технологіями для підвищення безпеки, легкові причепа все ще часто не мають необхідних рішень для запобігання аварійним ситуаціям. Це вказує на важливість і актуальність дослідження у цій галузі.

Автопоїзд - це транспортна система, що складається з автомобіля-тягача та одного або декількох причепів. У ролі тягача може виступати як вантажний, так і легковий автомобіль, оснащений відповідним зчіпним пристроєм. Наприклад, легкові автомобілі часто використовують для буксирування причепів з туристичним обладнанням, трейлерів для відпочинку або вантажних платформ для перевезення будівельних матеріалів.

Безпека автопоїзда значною мірою залежить від його стійкості, тобто здатності утримувати задану траєкторію. З появою причепа поведінка

автомобіля змінюється, що збільшує ризик втрати стійкості, особливо внаслідок явища розгойдування, коли причеп починає коливатись у горизонтальній площині. Такі коливання можуть дестабілізувати весь автопоїзд і призвести до аварії.

Для підвищення безпеки руху використовуються різні підходи, зокрема:

- впровадження систем навчання водіїв та інноваційних навігаційних систем, які допомагають обирати найбільш безпечні маршрути;
- розвиток технологій інформування та попередження водія про потенційні небезпеки, зокрема систем, що дають рекомендації у складних ситуаціях;
- створення сучасних тягово-зчіпних пристроїв (ТЗП), які можуть підвищити стійкість автопоїзда. Наприклад, стабілізуючі ТЗП здатні зменшити ризик розгойдування причепа, забезпечити кращу керованість і підвищити загальну безпеку руху.

Одним із прикладів застосування таких пристроїв є туристичні автопоїзди, де важливо зберігати стабільність при русі на високих швидкостях і під час маневрування. Інший приклад - легкові автомобілі з причепами для перевезення човнів або спортивного обладнання, де стабілізуючий вплив допомагає уникнути аварійних ситуацій. Застосування таких рішень сприяє безпечнішій і комфортнішій експлуатації автопоїздів.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Типи та компоновальні схеми автопоїздів

Основним об'єктом дослідження є автопоїзд. Окрім класичного визначення, що вже згадувалося, автопоїзд можна описати як систему транспортних засобів, яка складається з одного ведучого транспортного засобу, що буксирує один або декілька наступних. Такі системи часто називають зчленованими або комбінованими транспортними засобами.

Буксирувані транспортні засоби, зазвичай причепа, не оснащені власним двигуном і залежать від тягача. Особливості комбінованих транспортних засобів, таких як автопоїзди, значно відрізняються від окремих транспортних засобів через специфічну кінематику та динаміку. Приєднання причепа змінює характеристики руху системи, викликаючи нестабільність і нелінійні взаємодії між її частинами. Зокрема, система зчеплення між тягачем і причепом створює певну нестійкість, що проявляється у фазовій затримці між рухами цих елементів і може впливати на маневровість та безпеку руху.

Автопоїзди та причепа класифікуються залежно від типу тягача і сфери їх застосування на дві основні групи [13-16]:

- Комбінації важких транспортних засобів з причепами: Це комерційні транспортні засоби, такі як великі вантажівки, автопоїзди для перевезення важких вантажів або зчленовані автобуси, які використовуються для транспортування пасажирів.

- Комбінації легких транспортних засобів з причепами: Це легкові автомобілі, позашляховики чи легкі вантажівки, що буксирують вантажні

причепи, трейлери або спеціалізовані причепи, наприклад, для човнів чи побутових потреб.

Ці особливості потребують глибокого вивчення для оптимізації керованості та безпеки автопоїздів, що є актуальним завданням у транспортних системах (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 Основні відмінності між легкими та важкими автопоїздами

Параметр	Легкі автопоїзди	Важкі автопоїзди
Маса	До 3,5 тонни	Понад 3,5 тонни
Тип тягача	Зазвичай легковий автомобіль	Зазвичай вантажний автомобіль
Сфера використання	Побутові та легкі комерційні перевезення	Комерційні та промислові перевезення
Конструкція причепа	Простіший дизайн, менше елементів безпеки	Складніша конструкція з посиленими елементами
Системи безпеки	Обмежені системи активної та пасивної безпеки	Розвинуті системи активної та пасивної безпеки
Вимоги до водія	Низькі або середні вимоги до кваліфікації	Високі вимоги до кваліфікації та досвіду

Як видно з таблиці 1.1, розгойдування є більш небезпечним і виразним для легкових автомобілів. Тому при проектуванні стабілізуючого тягово-зчіпного пристрою ми зосередимося саме на цій категорії транспортних засобів.

Під час руху автопоїзда з причепом виникають два основних явища, що становлять значну загрозу безпеці: складання і бічні коливання, відомі також як розгойдування, нищпорення або виляння.

Складання автопоїзда є наслідком гальмування тягача, що призводить до зсуву причепа з його вектора руху і повороту під певним кутом відносно тягача (рис. 1.1). Це явище може статися, зокрема, за умови поганого

зчеплення коліс причепа з дорожнім покриттям, створюючи загрозу пошкодження сидельно-зчіпного пристрою або іншого механізму зчеплення. У деяких випадках це може спричинити ушкодження вантажу чи самого причепа або, у найгіршому разі, перевертання автопоїзда. Особливо небезпечно, коли причіп досягає максимального кута повороту, що може призвести до відриву керованих коліс від дорожнього покриття, викликаючи втрату керування транспортним засобом [2-5].

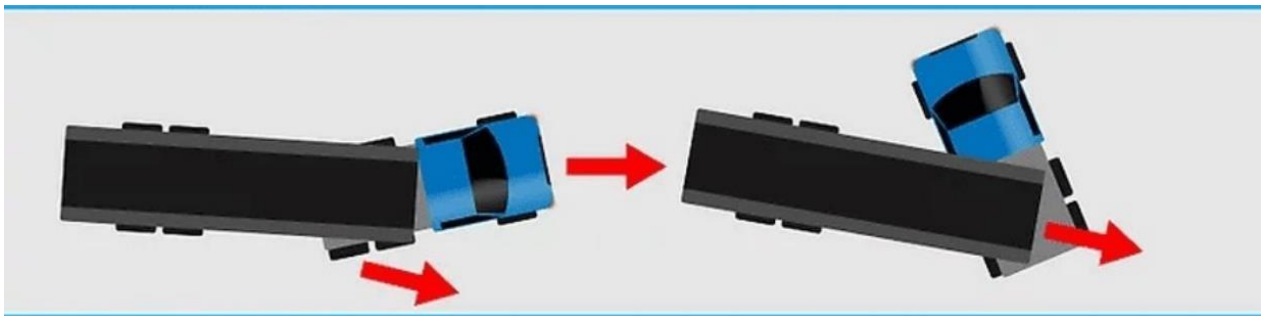


Рисунок 1.1 - Складання автопоїздів

Розгойдування причепа характеризується коливальними рухами причепа в площині дорожнього покриття вздовж осі, перпендикулярної до вектора швидкості автопоїзда (рис. 1.2). Таке явище зазвичай проявляється на середніх і високих швидкостях і майже не зустрічається при швидкості нижче 60 км/год.

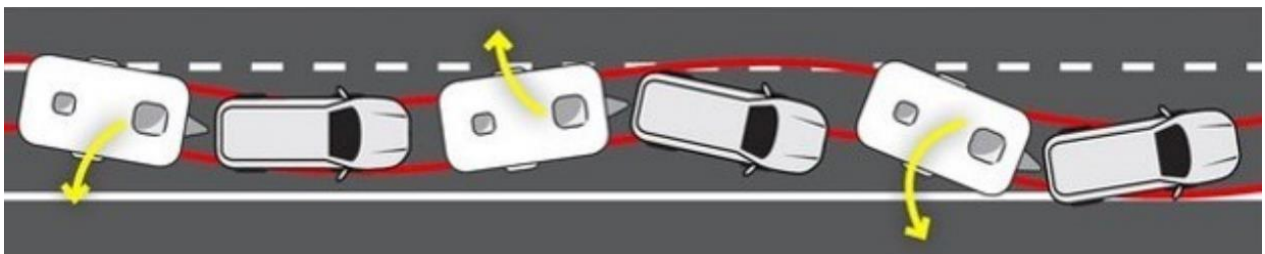


Рисунок 1.2 - Розгойдування причепа

Ймовірність виникнення розгойдування зростає зі збільшенням маси

причепа відносно маси автомобіля. Тобто цей ефект рідко виникає, коли легкий причіп буксирується важчим транспортним засобом. Важливим фактором, який впливає на стабільність, є розташування вантажу відносно осі коліс причепа: чим далі центр маси вантажу знаходиться від точки зчленування, тим вища ймовірність втрати стійкості. Якщо центр маси знаходиться позаду осі коліс у площині дороги, причіп стає особливо нестійким.

Ці особливості мають бути враховані при проектуванні і виборі конструкційних рішень для стабілізуючих систем автопоїздів, щоб забезпечити безпечний і надійний рух.

Існує емпіричне правило, яке допомагає уникнути розгойдування: причепа легкових автомобілів слід завантажувати так, щоб близько 10% ваги причепа припадало на кульову опору причіпного пристрою (фаркопа). Проте експериментальні дослідження свідчать, що оптимальна вага дишла має становити від 6% до 8% загальної ваги причепа. Вага дишла є критично важливим фактором для забезпечення стійкості причепа, оскільки вона впливає на інерцію бокового руху та загальну масу системи. Незважаючи на це, такі рекомендації часто ігноруються, що призводить до неправильного завантаження причепів і підвищує ризик аварій через нестабільне буксирування.

Тому важливо поширювати інформацію про ці правила та оптимальні методи завантаження, щоб зменшити ймовірність виникнення небезпечних ситуацій на дорогах.

Стійкість - це експлуатаційна властивість транспортного засобу (ТЗ), що характеризує його здатність підтримувати задані параметри руху або положення навіть при виникненні зовнішніх збурень.

Для досягнення бажаного курсового кута і траєкторії руху водій створює керуючі сили шляхом повороту рульового колеса. Однак крім керуючих сил, на автомобіль діють численні збурюючі сили випадкового характеру, такі як взаємодія коліс з нерівностями дороги, нахил дорожнього

полотна, дисбаланс коліс, аеродинамічні впливи тощо. Ці збурюючі сили можуть викликати відхилення автомобіля від встановлених параметрів руху або положення, знижуючи його стійкість.

Розгляд стійкості автомобіля включає аналіз умов стабільності, що стосуються бокового зміщення, кутової швидкості та перекидання як у поперечній, так і в поздовжній площинах. Усі ці фактори вивчаються для забезпечення безпечного руху та мінімізації ризиків, пов'язаних із нестабільністю автомобіля на дорозі.

При теоретичному аналізі стійкості автомобіля використовуються різні розрахункові оціночні показники, що описують критичні (граничні) стани руху або положення транспортного засобу. До них належать [6, 7, 16]:

- Критичні швидкості та радіуси повороту для бокового ковзання $V_{СК}$, $R_{СК}$ і бокового перекидання $V_{ВР}$, $R_{ВР}$. Ці показники визначають межі стійкості автомобіля при виконанні поворотів: при перевищенні критичних швидкостей або зменшенні радіусів повороту виникає ризик бокового ковзання або перекидання.

- Критичні кути нахилу для бокового ковзання $\beta_{СК}$ і бокового перекидання $\beta_{ВР}$. Ці кути описують межі стійкості при нахилах автомобіля на різних ділянках дороги або внаслідок зовнішніх сил.

- Коефіцієнт поперечної стійкості $\eta = U / (2h * g)$, де U - відстань між осями коліс, h - висота центра маси автомобіля, g - прискорення вільного падіння. Цей коефіцієнт використовується для оцінки стійкості автомобіля в поперечній площині.

- Критична швидкість по курсовій стійкості $v_{кpw}$. Цей параметр визначає межу, за якою автомобіль втрачає здатність зберігати стійкий курс при зміні напрямку руху.

- Критична швидкість автопоїзда з вилянням причепа. Цей показник враховує вплив причепа на стійкість автопоїзда, особливо при високих швидкостях, коли виникає небезпека втрати контролю через виляння причепа.

- Стійкість при гальмуванні автомобіля. Цей параметр розглядається для оцінки стійкості транспортного засобу під час екстреного гальмування, враховуючи вплив розподілу ваги та інших динамічних факторів.

Такі оціночні показники допомагають визначити граничні стани стійкості транспортного засобу та розробити відповідні заходи для підвищення безпеки руху.

1.2. Динамічний коридор

Динамічний або габаритний коридор - це ширина смуги, необхідна для руху транспортного засобу, яка є більшою за його фактичну габаритну ширину. Це зумовлено впливом дорожніх нерівностей, поперечного нахилу або бокового вітру, що призводять до відхилень автомобіля від заданої траєкторії. Водій змушений постійно коригувати напрямок руху, оскільки навіть на прямих відрізках дороги автомобіль рухається по кривих великого радіусу.

На високій швидкості (від 40 км/год і більше) коридор руху автопоїзда стає небезпечним через поперечні коливання причепа в горизонтальній площині, що загрожує безпеці не тільки інших учасників дорожнього руху, але й самого автопоїзда. Це може спричинити втрату стійкості причепа, ускладнюючи керування. Такі коливання викликають значні навантаження на компоненти автопоїзда, особливо на тягово-зчіпний пристрій, що може призвести до його пошкодження.

Збільшення критичної швидкості з урахуванням умов стійкості автопоїзда досягається подовженням бази причепа (напівпричепа) і зміщенням центру тяжіння ближче до зчіпного пристрою.

Ширина динамічного габариту залежить від швидкості руху і здатності водія своєчасно реагувати на відхилення автомобіля. При швидкості 35 км/год динамічний габарит перевищує габаритну ширину автомобіля на 35–45%, а при 70 км/год - на 60–70%. У вантажних автомобілів, особливо

автопоїздів, динамічний габарит значно перевищує ширину смуги, передбачену будівельними нормами, через що водії часто змушені знижувати швидкість, навіть коли технічні можливості дозволяють рухатися швидше.

На поворотах смуга руху автопоїзда має складну конфігурацію (рис. 1.3). Зовнішня межа, відносно центру повороту, визначається траєкторією переднього крила або бампера тягача, а внутрішня - заднім кутом причепа (13-16).

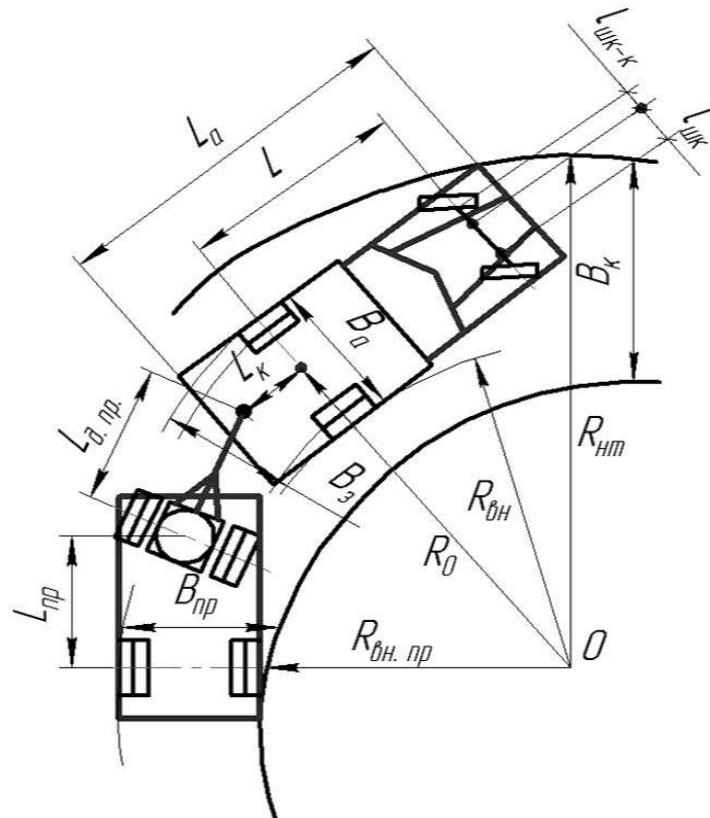


Рисунок 1.3 - Динамічний коридор автопоїзда при круговому русі:

L_a - довжина автомобіля, L - база автомобіля (відстань між передньою та задньою осями), B_z - ширина колії задніх коліс автомобіля, B_a - ширина автомобіля, $шк$ - відстань між шворнями поворотних цапф, $шк-к$ - відстань від осі шворня до середньої вертикальної поздовжньої площини колеса, $L_{до}$ - відстань від задньої осі автомобіля до буксирного гака, $L_{д.ін.}$ - довжина дишла причепа, $L_{пр}$ - база причепа (відстань між його осями), $B_{пр}$ - ширина причепа, $R_{вн}$ - радіус повороту по зовнішній крайній точці автомобіля, $R_{вн}$ - радіус повороту внутрішнього заднього колеса автомобіля, R_0 - радіус повороту середньої точки заднього моста автомобіля, $R_{вн. пр}$ - радіус повороту внутрішнього заднього колеса причепа, O - центр повороту.

Ці параметри визначають динамічний коридор автопоїзда при круговому русі, з урахуванням складної траєкторії руху як самого автомобіля, так і причепа, особливо при поворотах.

Визначення факторів динамічного коридору проводиться за наведеними нижче формулами [10-16].

Радіус повороту середини заднього мосту:

$$R_0 = R_{\text{вн}} + \frac{B_3}{2}, \text{ м} \quad (1.1)$$

Радіус повороту внутрішнього заднього колеса:

$$R_{\text{вн}} = R_0 - \frac{B_3}{2} = \frac{L}{\tan \alpha'} - \frac{B_3}{2} \quad (1.2)$$

Радіус повороту зовнішньої крайньої крапки автомобіля:

$$R_{\text{нт}} = \sqrt{(R_0 + \frac{B_A}{2})^2 + (L_A + L_C)^2}, \text{ м} \quad (1.3)$$

Динамічний габарит автомобіля (B_K) визначається за формулою:

$$B_K = R_{\text{нт}} - R_{\text{вн}} = \sqrt{(R_0 + \frac{B_A}{2})^2 + (L_A + L_C)^2} - \frac{L}{\tan \alpha'} - \frac{B_3}{2}, \text{ м} \quad (1.4)$$

Радіус повороту по зовнішньому передньому колесу автомобіля:

$$R_{\text{нт}} = L \sqrt{1 + (\frac{l_{\text{шк}}}{L} + \text{ctg } \alpha')^2} + l_{\text{шк-к}} \quad (1.5)$$

Динамічний коридор автопоїзда ширший за смугу одиночного автомобіля при тому ж радіусі повороту, оскільки його ширина залежить не тільки від тягача, а й від бази причепа, довжини дишла та величини заднього звису (відстані від задньої осі до буксирного гака). Він визначається основною траєкторією автопоїзда та зсувом траєкторій причепів у бік центру повороту, які описуються серединами їхніх задніх осей. Максимальний зсув траєкторій причепів досягається при встановленні кругового руху автопоїзда. Зсув траєкторій причепів під час несталого руху на повороті завжди менший за максимальний і аналітично точно не визначається. Через це неможливо точно аналітично обчислити динамічний коридор автопоїзда.

Практичні дослідження показали, що для автопоїзда при радіусі повороту 6,4 м і постійному режимі поступальної швидкості та кутової швидкості повороту керованих коліс зсув траєкторії задньої осі другого причепа становить: при повороті на 45° - 0,9 м, на 90° - 1,4 м, а на 180° - 1,8 м. При збільшенні кутової швидкості повороту керованих коліс (швидкий поворот рульового колеса) і незмінності інших умов величина зсуву траєкторій збільшується: при повороті на 90° вона становить 1,9 м замість 1,4 м у попередніх умовах. Тому ширина динамічного коридору автопоїзда при несталому криволінійному русі визначається приблизними розрахунками, заснованими на припущенні, що будь-який поворот автопоїзда можна вважати усталеним круговим, який створює найбільшу смугу, за якою слід оцінювати можливість безпечного проїзду (рис. 1.4).

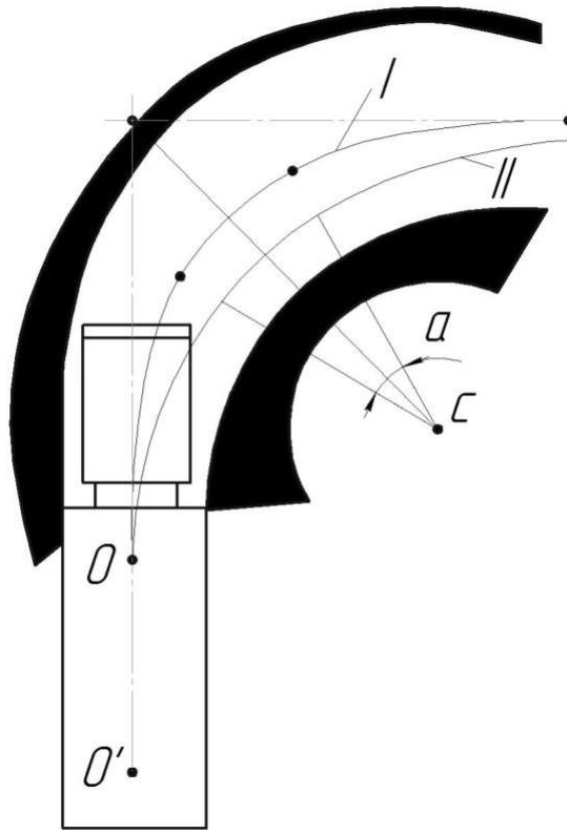


Рисунок 1.4 - Фактичний і круговий динамічний коридор руху автомобіля-тягача з напівпричепом при повороті на 90°: I - траєкторія (основна) середини заднього ведучого моста тягача; II - траєкторія середини задньої осі напівпричепа; ПО - поздовжня вісь автомобіля-тягача; С - центр повороту

Радіус повороту внутрішнього заднього колеса двовісного причепа автопоїзда з одним причепом визначається за формулою [10-13]:

$$R_{\text{вн.пр}} = \sqrt{R_0^2 - l_{\text{д.пр}}^2 - L_{\text{пр}}^2 + l_{\text{к}}^2} - \frac{B_{\text{пр}}}{2}, \text{ м} \quad (1.6)$$

Радіус повороту внутрішнього заднього колеса напівпричепа визначається за формулою:

$$R_{\text{вн.пп}} = \sqrt{R_0^2 - l_{\text{к.п}}^2 - L_{\text{пп}}^2} - \frac{B_{\text{пп}}}{2}, \text{ м} \quad (1.7)$$

Радіус повороту внутрішнього заднього колеса напівпричепа -розпуска визначається за формулою:

$$R_{\text{вн.пр.р}} = \sqrt{R_0^2 - l_k^2 - l_{\text{др}}^2} - \frac{B_{\text{пр.р}}}{2}, \text{ м} \quad (1.8)$$

Динамічний коридор одиничного автомобіля визначається

$$B_k = R_n - R_{\text{вн}} = L \sqrt{1 + \frac{l_{\text{шк}}}{L} + \text{ctg } \alpha'} - R_0 - \frac{B_z}{2}, \text{ м} \quad (1.9)$$

Ширина динамічного коридору автопоїзда залежить від бази та довжини дишла, через що вона значно перевищує ширину смуги, необхідну для окремого автомобіля з тією ж габаритною шириною. Наприклад, для вантажного автомобіля з причепом при радіусі повороту 6 м і величині зсуву 1 м максимальна ширина коридору може досягати 6 м, що більш ніж удвічі перевищує габаритну ширину тягача. Велика ширина смуги руху, зайнята автопоїздами, разом із їхньою недостатньою динамічністю є однією з причин, чому для автопоїздів відповідно до вимог безпеки використовуються спеціальні розпізнавальні знаки: спереду - «Автопоїзд», ззаду - «Довгомірний транспортний засіб».

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Основні конструкції ТЗП

Основна функція тягово-зчіпного пристрою (ТЗП) полягає у забезпеченні надійного та безпечного з'єднання елементів автопоїзда. Конструкція ТЗП має відповідати вимогам міцності та надійності, дозволяти складання автопоїзда для здійснення маневрів з мінімальним радіусом повороту, забезпечувати зручне зчеплення та розчеплення, а також амортизувати динамічні навантаження під час руху. ТЗП призначені для передачі значних поздовжніх сил і помірних вертикальних навантажень у діапазоні 10–15 кН для легкових автомобілів. Вони складаються з роз'ємного зчіпного механізму (іноді з амортизаційними елементами) та кріпильних компонентів.

Конструктивні особливості ТЗП значно впливають на експлуатаційні характеристики автопоїзда, зокрема на керованість, курсову стійкість, маневреність, плавність ходу, прохідність, надійність та загальну безпеку руху. Залежно від типу зчіпного механізму ТЗП поділяються на три основні види: гакові (комбінація гак-петля), вилкові або шкворневі (пара шворень-петля), та кульові (комбінація шар-напівсфера). Для легкових автомобілів найпоширенішим є ТЗП кульового типу.

2.1.1 Кульові ТЗП

Тягово-зчіпні пристрої типу шар-напівсфера (куля-петля) застосовуються для буксирування легких причепів масою до 3,5 т. Вони підходять для буксирування одновісних причепів або причепів з візком,

розташованим по центру, які мають дві або три пари коліс. Тягачами для таких причепів можуть бути легкові автомобілі, пікапи, мікроавтобуси та малотоннажні вантажівки. Вимоги до цих пристроїв регулюються стандартами ISO 1103 та ГОСТ 30600-97.

На автомобілі встановлюється зчіпна куля діаметром 50 мм (відповідно до ГОСТ 28248), а на дишлі причепа закріплюється відповідна зчіпна головка (сфера). Важливою вимогою для всієї конструкції ТЗП є надійне кріплення до елементів кузова або рами автомобіля, здатних витримати як циклічні, так і статичні навантаження. Несуча здатність ТЗП визначається відповідністю його конструкційних параметрів навантаженням, які виникають під час експлуатації. Згідно зі стандартами, кульові ТЗП повинні проходити випробування на втомну міцність конструкції. Окрім механічного з'єднання, ці пристрої забезпечують електричне підключення між тягачем і причепом.

Причепа класифікуються за максимальною допустимою масою на легкі (до 750 кг) і важкі (понад 750 кг). Кульові ТЗП, залежно від типу кулі та способу кріплення, поділяються на виконання А, В, С, F, G, H та N.



Рисунок 2.1 - Кульовий ТЗП

Кульові ТЗП набули популярності завдяки своїй простоті, доступній вартості та зручності використання. Їх переваги включають мінімальні зазори в з'єднанні, що сприяє плавності ходу. Однак кульові ТЗП мають і недоліки: вони забезпечують обмежені кути відхилення причепа в різних площинах, рідко оснащуються демпферами, а найголовніше - вони не дають можливості динамічно впливати на стабільність причепа, оскільки не мають механізмів для його стабілізації.

2.1.2 Тягово-зчіпні пристрої типу гак-петля

В Україні тягово-зчіпні пристрої типу "гак-петля" є найпопулярнішими серед вантажного транспорту завдяки своїй адаптивності до складних дорожніх умов. Цей тип ТЗП відзначається простотою конструкції, легкістю у виготовленні, малою масою та можливістю значного відхилення під час руху. Завдяки цим властивостям гакові ТЗП особливо ефективні при русі у важкодоступній місцевості з різноманітним рельєфом.

Конструкція таких пристроїв передбачає значні зазори у з'єднанні гак-петля (до 10 мм), що спрощує процес зчеплення та розчеплення. Однак ці зазори також призводять до підвищених динамічних навантажень і прискореного зношення деталей, зокрема гака та петлі дишла, що може спричинити їх швидкий вихід з ладу.



Рисунок 2.2 - Буксирувальний гак

В Україні на такі з'єднання поширюється ГОСТ 2349–75, який регламентує висоту встановлення над опорною поверхнею та визначає чотири основні типорозміри для приєднання. Стандартне з'єднання гакового типу з двосторонньою амортизацією складається з тягового гака, встановленого на тягачі, та жорсткого дишла зі зчіпною петлею, яке приєднується до причепа. Тяговий гак зазвичай монтується на задню поперечину рами тягача або причепа (напівпричепа), що дозволяє буксирувати додатковий причіп.

Конструкція типу "гак-петля" складається з гака, накидної засувки, запобіжного замка та шплінта, які запобігають випадковому розчепленню автопоїзда під час руху. Передній кінець стрижня гака, що розташований у втулці, фіксується гайкою, забезпечуючи його поздовжнє переміщення. У середині корпусу знаходиться гумовий пружний елемент гіперболоїдної форми, який стискається шайбами та пристосовується до форми корпусу. У деяких конструкціях замість цього елемента використовуються кільцеві, гвинтові циліндричні або конічні пружини.

Попри певні недоліки конструкції типу "гак-петля", виробники продовжують вдосконалювати її, пропонуючи різноманітні модифікації гака і замка. Для усунення зазорів у зчіпному з'єднанні були створені спеціальні варіанти ТЗП, де зазори автоматично компенсуються за допомогою конічних роликів (виробник Coder Ture) або з використанням пружин чи пневматичних механізмів. Ці модифікації відомі як "беззазорний гак" або "беззазорна петля" (виробник Utility Trailer).

2.1.3 ТЗП типу петля-шворень

На відміну від України, у багатьох країнах більшість автопоїздів загального призначення оснащуються зчіпними системами типу "шворень-петля". Основою цієї конструкції є вилка, в яку вставляється зчіпна петля причепа, що закріплюється шворнем. Для короткострокового використання на тягачах іноді встановлюють буксирні пристрої спрощеної конструкції пальцевого типу.

Існують також більш складні конструкції ТЗП, обладнані напрямним апаратом (уловлювачем) і напівавтоматичним або автоматичним затвором, які значно підвищують зручність і безпеку процесів зчеплення та розчеплення.

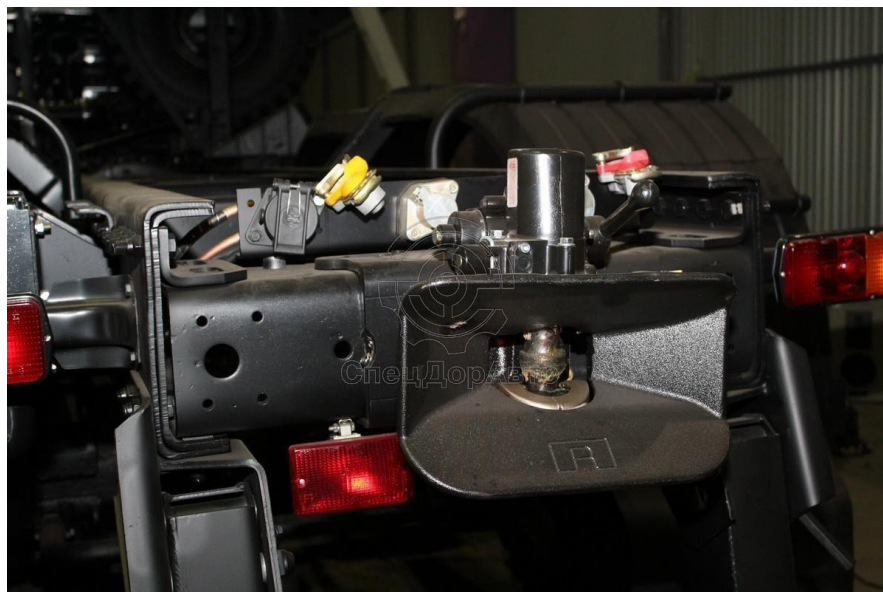


Рисунок 2.3 - ТЗП шкворневого типу

Вилкові тягово-зчіпні пристрої (ТЗП) мають мінімальні зазори в з'єднаннях, що забезпечує швидке та безпечне зчеплення й розчеплення автопоїзда. Завдяки можливості заміни шворня та втулки зчіпної петлі, ці ТЗП мають довгий термін експлуатації та високу ремонтпридатність у порівнянні з гаковими ТЗП. Під час відновлювального ремонту вилкових ТЗП зазвичай достатньо замінити лише шворень і втулки.

Одним з основних недоліків вилкових ТЗП є складність конструкції та, до недавнього часу, обмеження щодо забезпечення великих кутів гнучкості автопоїзда, що особливо важливо в умовах експлуатації в Україні. Вилкове з'єднання також дає змогу автоматично зчіплювати і розчеплювати автопоїзд: при під'їзді тягача до причепа зчіпна петля заходить в уловлювач, і шворень автоматично фіксує ТЗП.

Відповідно до національного стандарту ДСТУ ГОСТ ISO 8718:2009, шкворневі тягово-зчіпні пристрої повинні забезпечувати наступні кути гнучкості: $\pm 25^\circ$ щодо поперечної осі, що проходить через центр зчіпної петлі або шарніра вертикальної гнучкості; $\pm 75^\circ$ щодо вертикальної осі; $\pm 20^\circ$ щодо поздовжньої осі. Шкворневі ТЗП випускаються у чотирьох варіантах виконання: А і В - без шарніра вертикальної гнучкості; С - з шарніром вертикальної гнучкості; D - без шарніра, з обмеженою рухливістю. Виконання В і D передбачають використання зчіпної петлі з діаметром отвору 40 мм, а варіанти А і С - для зчіпної петлі з отвором діаметром 50 мм.

2.2 Конструкція автомобільного причепа

Основними елементами конструкції легкового причепа є рама, дишло з тягово-зчіпним пристроєм (ТЗП), кузов і підвіска (ходова частина).

Рама універсального вантажного причепа - це міцна металева зварна конструкція, яка зазвичай складається з двох поздовжніх лонжеронів і двох-чотирьох поперечок. Дишло, яке може бути А-подібної або І-подібної форми,

виступає горизонтальним важелем, закріпленим на передній частині рами причепа. На дишлі розташовуються зчіпний вузол, страхувальні троси, складана підставка, а також часто кріпиться запасне колесо. Дишло може бути складним (з можливістю ховатися під днище причепа у складеному вигляді) або знімним і за потреби оснащуватися подовжувачем для транспортування довгомірних вантажів.

Зчіпний вузол призначений для з'єднання причепа з тягово-зчіпним пристроєм автомобіля. У ТЗП кульового типу зчіпний вузол включає "чашку", яка надягається на зчіпний шар, а також запірний механізм із важелем, що фіксує вузол на кулі. Для забезпечення безпеки причепа обладнані страхувальними тросами або ланцюгами та складаною підставкою для підтримки.

Світлові сигнали причепа підключаються через штепсельне з'єднання, розташоване на зчіпних пристроях тягача і причепа. Страхувальні троси (або ланцюги) забезпечують захист, запобігаючи повному від'єднанню причепа від автомобіля у випадку випадкового розчеплення. Складна підставка допомагає утримувати причіп у горизонтальному положенні під час завантаження та розвантаження, коли причіп від'єднаний від автомобіля. Деякі підставки обладнані невеликим колесом для полегшення стикування з автомобілем.

Кузов універсальних вантажних причепів зазвичай виготовляється з металу, зі зварною або збірною конструкцією. Він може бути оцинкованим або пофарбованим, з дерев'яною підлогою та відкидними бортами для зручності навантаження і розвантаження. Універсальні причепа часто комплектуються знімними тентами з прогумованої тканини на розбірному металевому каркасі, що дозволяє адаптувати їх для різних умов перевезення.



Рисунок 2.4 - Причіп одновісний

Характерними параметрами для будь-якого причепа є споряджена маса та повна маса. Споряджена маса причепа - це його власна маса разом із запасним колесом (якщо воно є в комплектації), але без вантажу. Дозволена максимальна, або повна маса, визначена виробником як максимально допустима, включає споряджену масу транспортного засобу разом із вантажем, водієм і пасажирями. Гальмівний шлях автопоїзда (автомобіля з причепом), обладнаного або не обладнаного робочою гальмівною системою, на рівному сухому асфальті зі швидкості 40 км/год до повної зупинки повинен бути не більше 14,5 м.

На сьогодні розроблено безліч винаходів, технічних схем і прототипів різних причіпних пристроїв, що спрямовані на підвищення стійкості автопоїздів. Використання стабілізуючих пристроїв є особливо поширеним у країнах із розвиненою автомобільною інфраструктурою та популярністю автомобільного туризму, який передбачає використання трейлерів і кемперів. До таких країн належать США, Канада, країни Центральної та Північної Європи, Австралія та Нова Зеландія.

Стабілізуючі пристрої класифікуються за різними ознаками:

- за принципом дії: активні та пасивні;
- за технологією: електронні та механічні;

- за типом використання: для одновісних та двовісних причепів.

Розглянемо деякі приклади стабілізуючих пристроїв.

Першим прикладом є механізм стабілізації для двовісного причепа, що функціонує на основі силового циліндра (рис. 2.5). Його принцип дії полягає в тому, що при повороті причепа циліндр (12) спрямовує передню вісь, закріплену на поворотному механізмі (1), назад у початкове положення.

Перевагами цього пристрою є можливість налаштування під різні умови експлуатації та завдання, а також функція відключення для полегшення маневрування. До недоліків можна віднести складність конструкції, що значно збільшує вартість виготовлення причепа, необхідність додаткового технічного обслуговування та неможливість використання цього механізму на одновісних причепах.

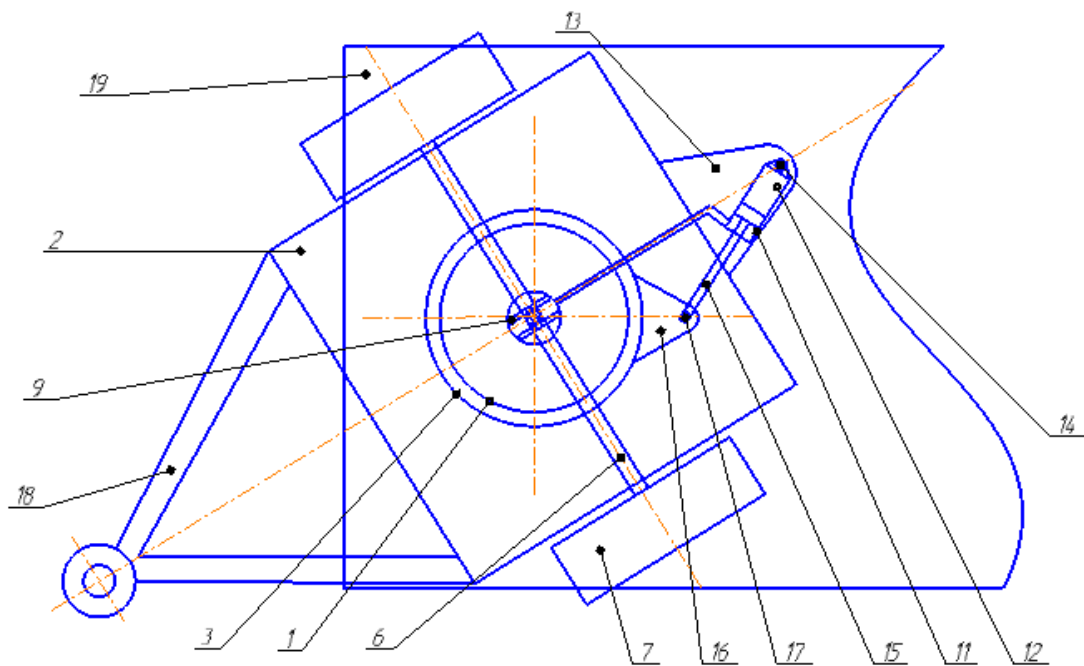


Рисунок 2.5 - Стабілізуючий пристрій з силовим циліндром

Іншим прикладом стабілізуючої конструкції є причіп-підкат, зображений на рисунку 2.6. Принцип дії його стабілізуючого механізму базується на використанні поворотного круга (4), встановленого під певним

кутом α до вертикальної осі. Коли причіп відхиляється в горизонтальній площині на повороті, нахил поворотного круга створює зусилля, яке повертає причіп у положення, що відповідає прямолінійному руху.

Незважаючи на простоту та надійність цієї конструкції, її застосування обмежене. У поєднанні з автомобілем, що буксирується, утворюється двовісний причіп, який не завжди є оптимальним для всіх умов експлуатації.

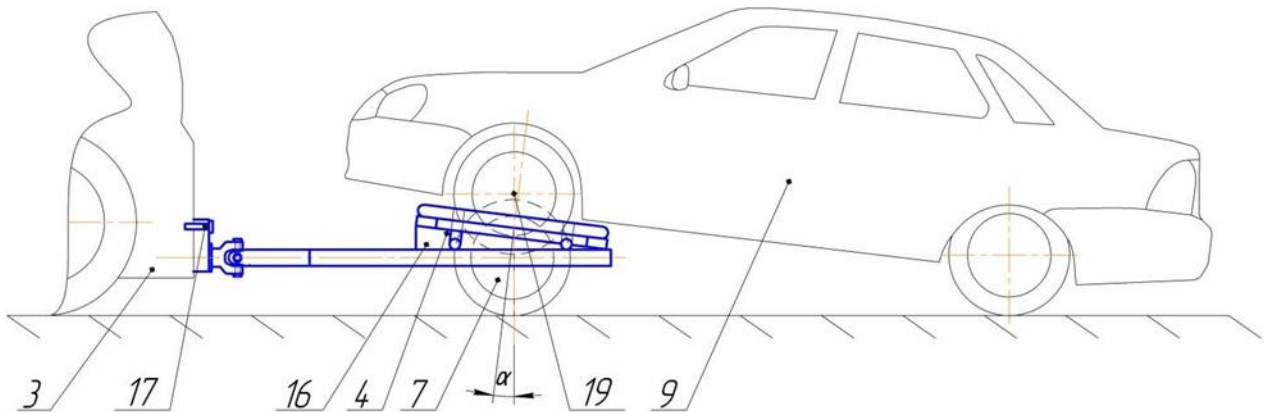


Рисунок 2.6 – Прицеп - підкат

Аналогічні розробки, в основі яких лежить поворотний коло, існують та для вантажних причепів (рис. 2.7).

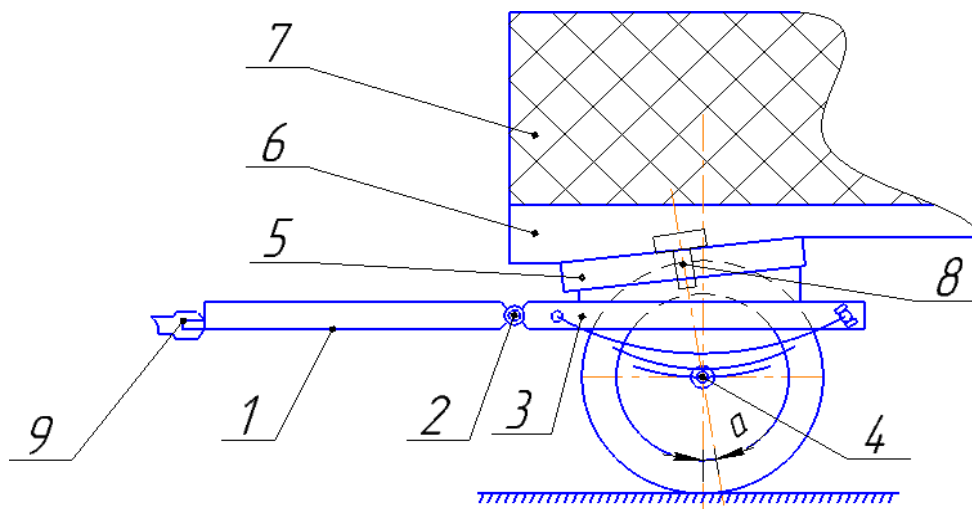


Рисунок 2.7 - Вантажний причіп з поворотним кругом

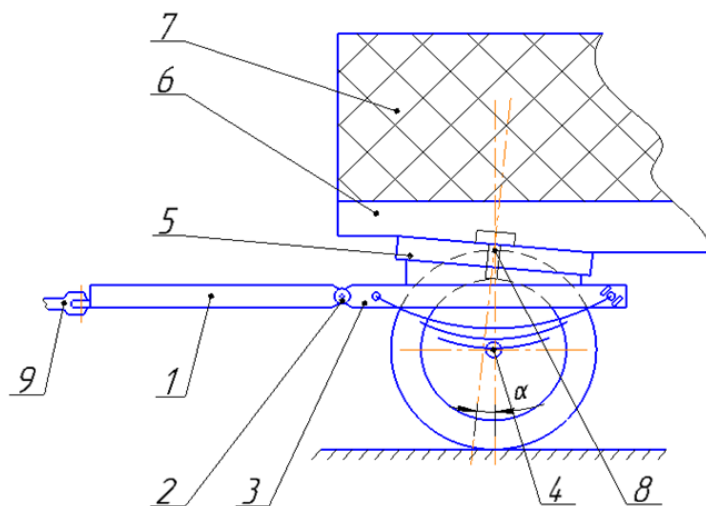


Рисунок 2.8 - Вантажний причіп з поворотним кругом

Цей тип пристроїв базується на збільшенні тертя у зчіпному з'єднанні між автомобілем і причепом. Для цього використовуються гідравлічні або фрикційні амортизатори, як зображено на малюнку 2.9. Додатковий опір у зчіпці допомагає зменшити високочастотні та низькоамплітудні коливання, викликані поривами вітру або дорожніми нерівностями. Основними перевагами таких пристроїв є простота конструкції, низька вартість і стабільна, передбачувана поведінка під час руху.



Рисунок 2.9 - Фрикційний стабілізатор

Окрім простих систем з одним демпфером, існують складніші стабілізуючі системи, що включають тяги та додаткові шарніри, які забезпечують специфічну кінематику зчіпки. Такі системи можуть виконувати додаткові функції поряд зі стабілізацією. Наприклад, система Equal-i-zer (зображена на малюнку 2.10) не тільки стабілізує, але й запобігає поздовжньому крену причепа, а також полегшує процес зчеплення та розчеплення автопоїзда.

Система Hensley Arrow, показана на рисунку 2.11, не використовує демпферів або фрикційних елементів, але має кінематичну схему, яка дозволяє повертати тягач відносно причепа, але не навпаки. Це означає, що сила, необхідна для руху автопоїзда, передається через ведучу ланку причіпного пристрою. Така конструкція не лише запобігає коливанням, але й забезпечує максимальну рухливість зчіпки під час маневрування. Хоча ці пристрої є високоефективними та досконалими, вони також досить дорогі, мають багато рухомих частин, пар тертя та точок кріплення.



Рисунок 2.10 - Система торгової марки " Equal -i- zer "

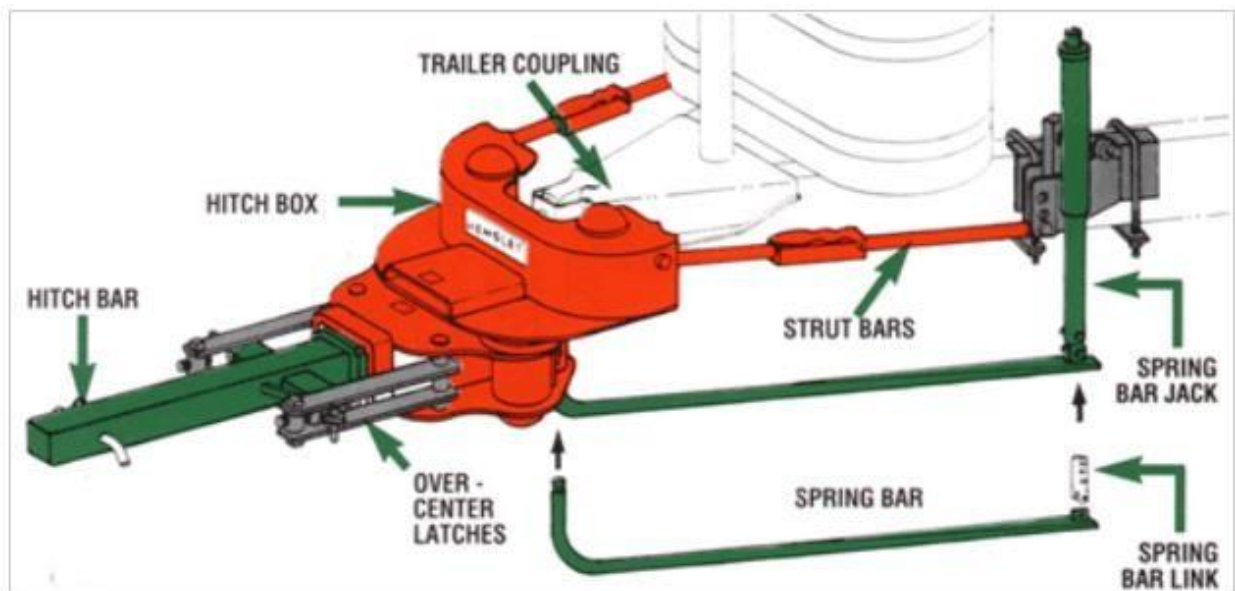


Рисунок 2.11 - Система « Hensley Arrow »

Окрім механічних рішень, за останні 15 років широке застосування отримали електронно-керовані стабілізуючі системи. Більшість із них базуються на вже існуючих автомобільних системах електронної стабілізації, таких як ESP від Mercedes-Benz або TCL від Mitsubishi. Основний принцип їхньої роботи схожий: ці системи отримують дані з датчиків швидкості обертання коліс, акселерометрів, датчика положення рульового колеса, а для корекції траєкторії використовують робочу гальмівну систему, оснащену блоком ABS, що дозволяє індивідуально контролювати кожне колесо.

Для використання з причепами ці системи доповнюються спеціальними програмними налаштуваннями, які враховують зміну поведінки автомобіля при русі з причепом. Зазвичай такі системи доступні як частина заводської комплектації автомобілів. Наприклад, система TSC (Trailer Stability Control) від Toyota інтегрована для забезпечення стабільності автопоїзда під час руху з причепом.

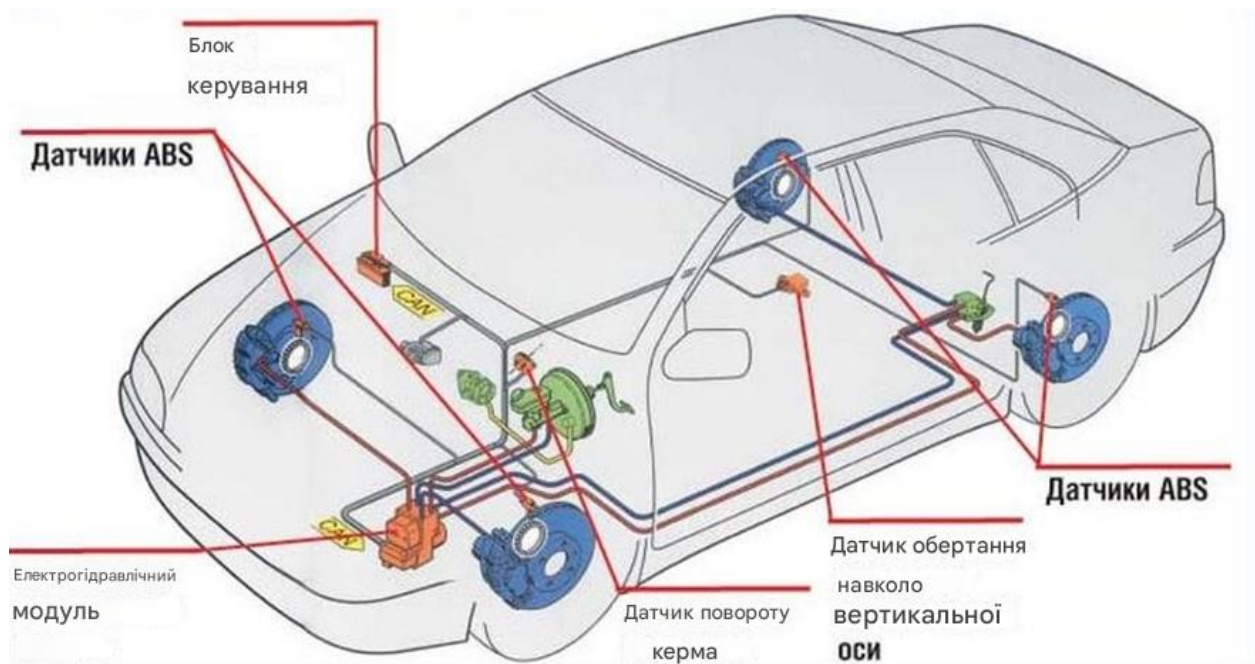


Рисунок 2.12 - Схема системи стабілізації руху автомобіля

Електронні системи стабілізації чудово зарекомендували себе на практиці, оскільки не вимагають додаткового обладнання для автомобіля і причепа. Проте їхній основний недолік полягає в тому, що більшість із них не може безпосередньо впливати на причіп, а лише коригує траєкторію автомобіля для придушення коливань. Найефективнішим рішенням є поєднання електронної системи з механічним стабілізуючим пристроєм.

Аналіз існуючих конструкцій і рішень дозволяє зробити кілька висновків. По-перше, традиційні тягово-зчіпні пристрої (ТЗП) і причепа, які широко застосовуються, здебільшого не оснащені системами стабілізації руху. Стандартом для легкових автомобілів є причепа на рамі з ресорною залежною або пружинною напівзалежною підвіскою, а також ТЗП кульового типу, які мають як переваги, так і недоліки.

По-друге, серед розглянутих рішень для підвищення стійкості та безпеки не існує універсального або найефективнішого варіанту за всіма параметрами. Комплексний підхід, що передбачає поєднання механічних і

електронних систем, є найбільш правильним і доцільним для досягнення оптимальних результатів.

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Використання принципу нахилу осі повороту в техніці

Принцип нахилу осі повороту (зазвичай колеса) широко застосовується в техніці. Найпростішим прикладом є нахил рульової колонки велосипеда (рис. 3.1). Це один із двох параметрів, який дозволяє рухатися на велосипеді «без рук» і значно спрощує керування ним. При позитивному нахилі осі повороту точка контакту колеса з дорожньою поверхнею знаходиться трохи позаду осі повороту. У результаті, коли колесо відхиляється від прямолінійного руху, виникають бокові сили, які прагнуть повернути колесо в початкове («нульове») положення.

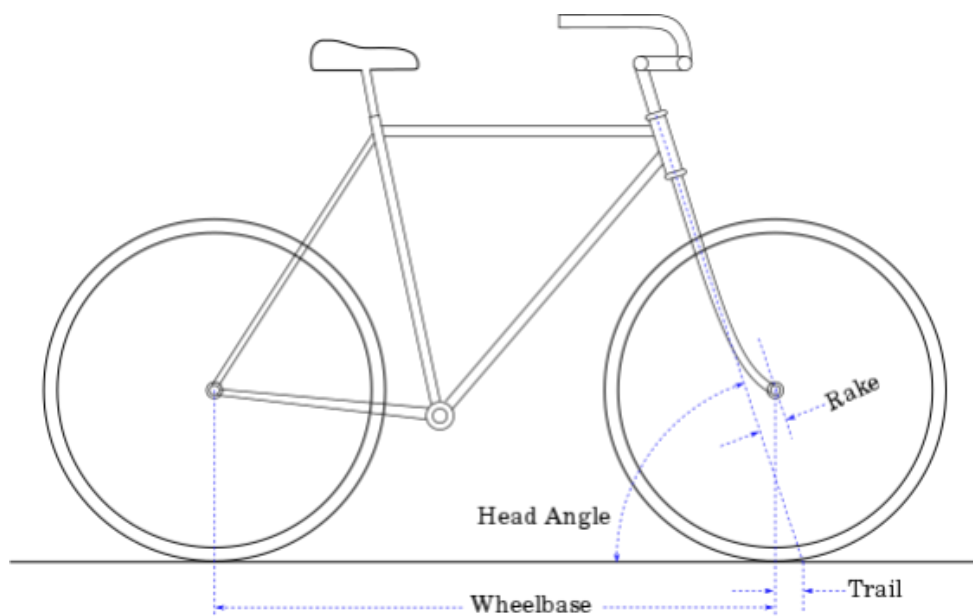


Рисунок 3.1 - Кут нахилу рульової колонки - нахил осі повороту переднього колеса велосипеда

В автомобілях передні керовані колеса також іноді мають нахил осі повороту, або шкворня, що підвищує стійкість автомобіля і зменшує ривки,

спричинені нерівностями дороги. Під час повороту зовнішнє колесо прагне підняти автомобіль, а внутрішнє саме піднімається. Таким чином, для повороту коліс необхідно долати не лише сили тертя, але й витрачати енергію на піднімання шасі. Завдяки цьому ефекту та створюваним бічним силам водій краще «відчуває» автомобіль. Однак цей принцип також призводить до збільшення зусилля на кермі, тому важливо правильно підібрати оптимальний кут нахилу.

Нахил осі повороту колеса в автомобілі також називають кастером або кастором (від англійського *caster angle*). Традиційно великий кут кастера застосовується в автомобілях Mercedes-Benz (рис. 3.2). У автоспорті, особливо в дисциплінах, пов'язаних із керуванням ковзанням, кут кастера зазвичай збільшують. Це дозволяє керуваним колесам самостійно повертатися у напрямку руху автомобіля під час заносу.

У нашому розроблюваному стабілізуючому пристрої також використано принцип нахилу осі повороту. Однак у цьому випадку нахиленою буде вісь повороту всього причепа, а не окремого колеса. Першим варіантом пристрою, що застосовує нахилений шкворень, стала така конструкція.



Рисунок 3.2 - Позитивний розвал внутрішнього колеса автомобіля Мерседес-Бенц при повороті, викликаний кутом нахилу осі повороту

Запропонована нами конструкція - спеціальний стабілізуючий тягово-зчіпний пристрій для одновісних причепів, розроблений для підвищення безпеки руху автопоїздів завдяки покращенню показників стійкості. Цей пристрій призначений для заміни зчіпної кулі, яка широко використовується на легкових автомобілях, тому необхідно було забезпечити можливість легкого переобладнання серійних автомобілів та причепів для сумісності з новим тягово-зчіпним пристроєм.

Принцип роботи пристрою базується на використанні в його конструкції хрестовини, вертикальна вісь якої нахилена у напрямку руху автопоїзда під кутом α . Це забезпечує виникнення сили під час повороту автопоїзда, яка прагне повернути причіп у положення прямолінійного руху.

На рис. 3.2-3.3 зображено принципову схему пристрою у двох проєкціях.

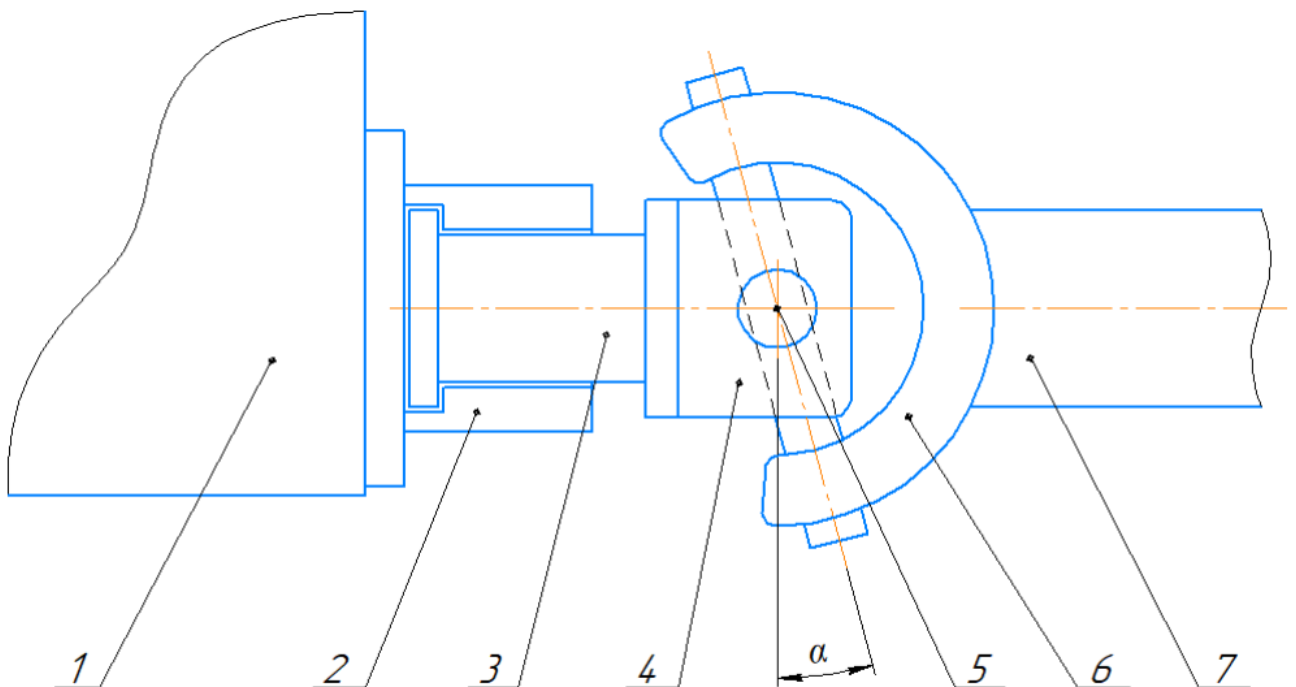


Рисунок 3.2 - Схема стабілізуючого тягово-зчіпного пристрою (вигляд зліва)

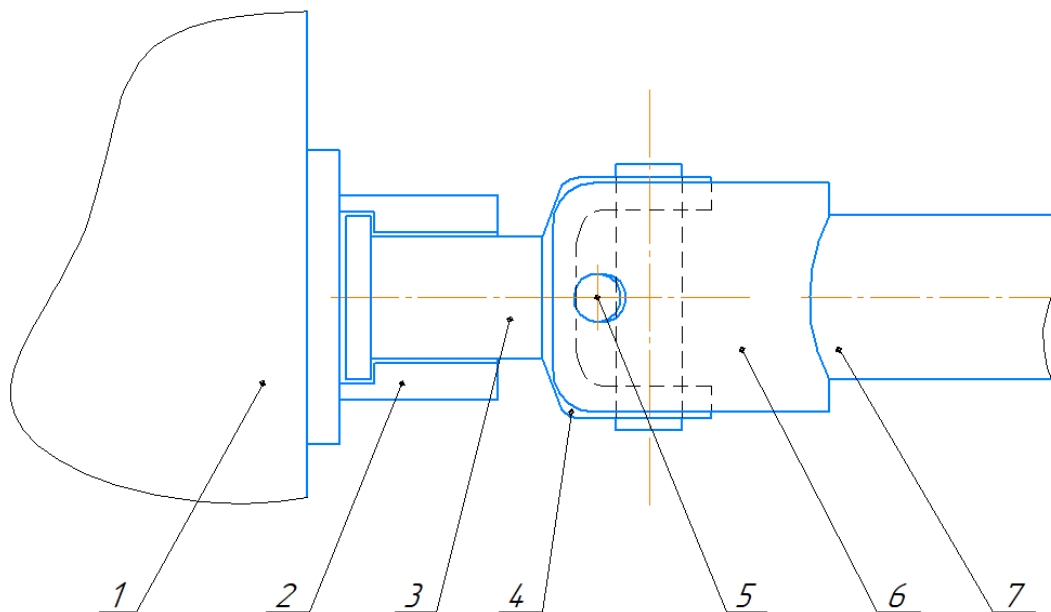


Рисунок 3.3 - Схема стабілізуючого тягово-зчіпного пристрою (вид зверху): 1 – силовий елемент кузова автомобіля; 2 – кріплення; 3 – шток; 4 – передня вилка; 5 - хрестовина; 6 - задня вилка; 7 - дишло причепа

Кріплення 2 жорстко закріплюється до силових елементів кузова автомобіля або, якщо передбачено, до рами. Для з'єднання причепа з автомобілем шток 3 вставляється у кріплення 2 та фіксується гайкою, що забезпечує можливість обертання частин автопоїзда навколо поздовжньої осі відносно одна одної. Шток 3 через передню вилку 4 з'єднаний із горизонтальною віссю хрестовини 5, а дишло причепа 7 з'єднане через задню вилку 6 з похилою віссю хрестовини 5. Це дозволяє причепу повертатися навколо вертикальної та поперечної осей.

У реальній конструкції, зображеній на рис. 3.4, зчеплення виконується за допомогою гайки 7, яка фіксується шпінтом 10. Додатково застосовуються гумові елементи 4 і 5 для гасіння ударних навантажень і зменшення рівня шуму. Хрестовина 9 стороннього виробника, з відповідними посадковими розмірами, встановлюється у вилки з натягом і фіксується стопорними кільцями 8.

Деталі пристрою виготовляються з листового сталевого прокату методом згинання на пресах, згідно зі стандартами. Для конструкції також використовуються кругла товстостінна стальова труба та сталевий пруток. З'єднання компонентів здійснюється методом напівавтоматичного зварювання плавким електродом у середовищі захисного газу.

Корпус пристрою 1 прикріплюється до рами або підрамника, який закріплюється на силових елементах кузова автомобіля. Конструкція підрамника розробляється індивідуально для кожної моделі автомобіля, але на ринку існують готові рішення із причіпними кулями, які можна адаптувати для використання з пропонованим пристроєм.

Задня вилка пристрою приєднується до дишла причепа за допомогою зварювання. Такий метод з'єднання обумовлений різноманітністю конструкцій причепів, що унеможливорює створення універсального кріплення, сумісного з більшістю моделей. Це зварне з'єднання було окремо перевірено на міцність і продемонструвало високі характеристики, що забезпечує його безпечне використання.

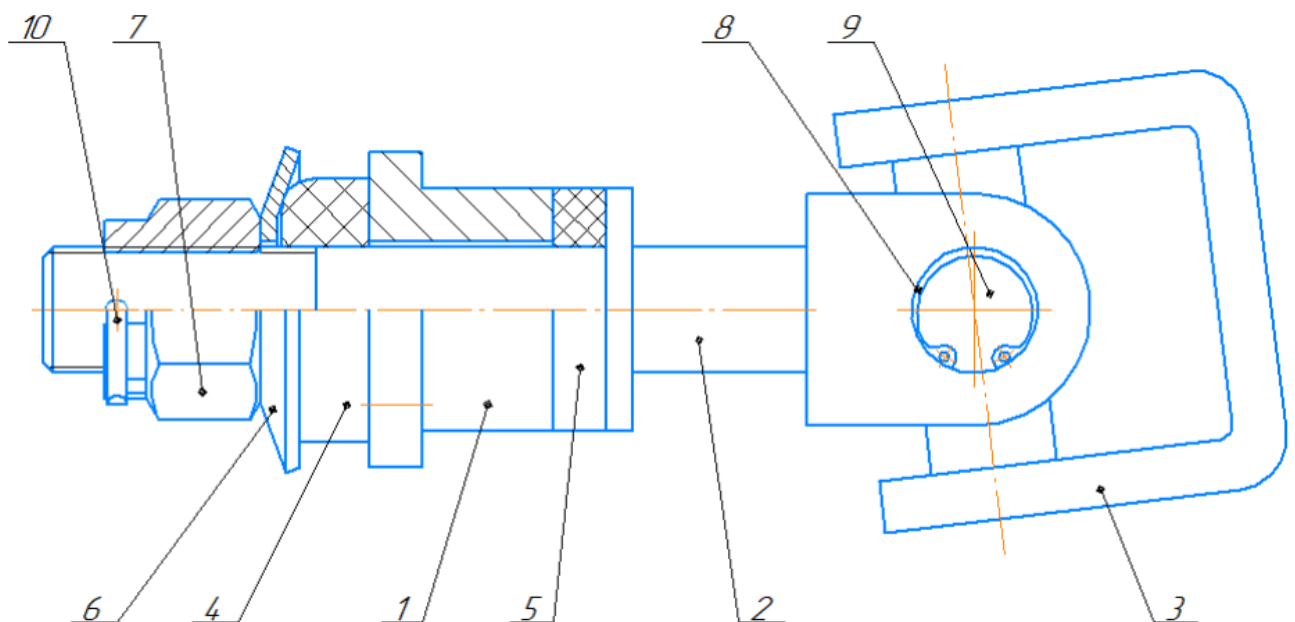


Рисунок 3.4 - Стабілізуючий тягово-зчіпний пристрій: 1 - корпус пристрою; 2 - шток з передньою вилкою; 3 - задня вилка; 4 - гумовий демпфер; 5 - гумове кільце; 6 - притискна шайба; 7 - корончаста гайка; 8 - стопорне кільце; 9 - хрестовина; 10 - шплінт.

Загальний вигляд автомобіля з причепом, що оснащений стабілізуючим тягово-зчіпним пристроєм представлений на рис 3.5.

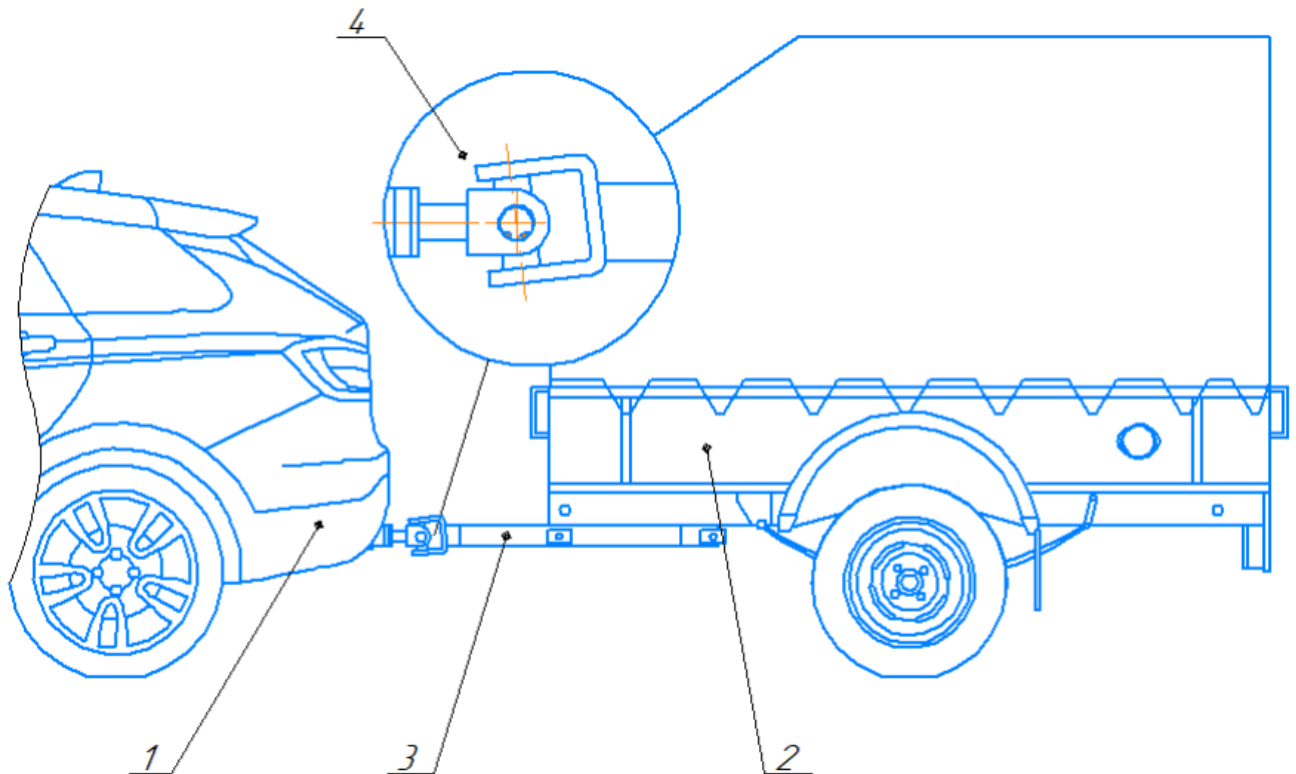


Рисунок 3.5 - Автомобіль з причіпом: 1 - автомобіль-тягач; 2 - причіп; 3 - дишло причепа; 4 - стабілізуючий тягово-зчіпний пристрій

Технічний результат полягає в тому, що така конструкція стабілізуючого тягово-зчіпного пристрою для одновісного причепа дозволяє підвищити стійкість прямолінійного руху як причепа, так і автопоїзда в цілому. Вона сприяє збільшенню критичної швидкості автопоїзда, при якій виникають поперечні коливання причепа, що розширюють габаритний коридор руху автопоїзда та знижують безпеку його експлуатації.

3.2. Конструкторсько - технологічне обґрунтування запропонованого ТЗП

Хрестовина, що використовується в конструкції пристрою, піддається

лише згинальним навантаженням, яке досягає свого максимуму під час гальмування автопоїзда. Оскільки обидві осі хрестовини зазнають однакове навантаження, розрахунок виконаємо для однієї осі - горизонтальної.

Максимальне навантаження визначимо як силу, що діє на хрестовину під час екстреного гальмування автопоїзда. Враховуючи, що прискорення автопоїзда при екстреному гальмуванні становить 5 м/с^2 , можна скористатися другим законом Ньютона, який стверджує, що сила дорівнює добутку маси на прискорення

$$F_{\text{торм}} = ma \quad (3.1)$$

$$F_{\text{торм}} = 2000 \cdot 5 = 10000 \text{ (Н)} \quad (3.2)$$

Сила прикладена до центру осі хрестовини. Діаметр осі хрестовини становить 14 мм. Збільшення площі перерізу в середині хрестовини можна знехтувати.

$$L = 75 \text{ мм} = 0,075 \text{ м}$$

$$l_1 = l_2 = 37,5 \text{ мм} = 0,0375 \text{ м}$$

$$F = 10000 \text{ Н} = 10 \text{ кН}$$

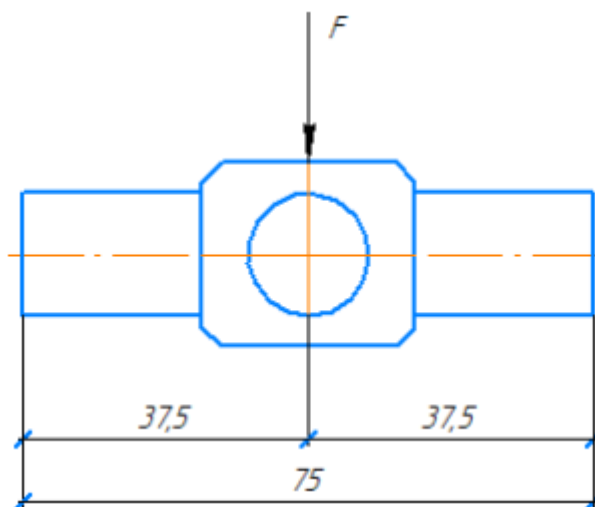


Рисунок 3.6 - Розрахункова схема

Знайдемо реакції опор:

$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\ R_A \cdot 0,075 - 10 \cdot 0,0375 &= 0 \Rightarrow R_A = 5 \text{ (кН)} \\ R_B &= R_A, \text{ т.к. } l_1 = l_2\end{aligned}\tag{3.3}$$

Визначимо максимальний згинальний момент:

$$M^z = 5 \cdot 0,0375 = 0,1875 \text{ (кНм)}.$$

Знайдемо площу поперечного перерізу:

$$W_z = \frac{\pi \cdot D^2}{4}\tag{3.4}$$

де D - діаметр осі хрестовини.

$$W_z = \frac{3,14 \cdot 0,014^2}{4} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

$$W_z = \frac{3,14 \cdot 0,014^2}{4} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначимо максимальне нормальне напруження:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_z}\tag{3.5}$$

$$\sigma_{max} = \frac{0,1875}{1,54 \cdot 10^{-4}} = 1218 \text{ (Па)} = 0,0012 \text{ МПа}$$

Для забезпечення міцності хрестовини на згин повинно виконуватися умова[18]:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma] \quad (3.6)$$

де $[\sigma]$ - максимально допустиме напруження при згині для даного матеріалу.

Хрестовини виготовляються з високолегованих сталей, прийmemo,
 $[\sigma] = 300 \text{ МПа}$.

$$0,0012 \text{ МПа} \leq 300 \text{ МПа}.$$

Умова міцності на згин виконується, тому використання даної хрестовини можна вважати безпечним.

Корпус тягово-зчіпного пристрою закріплюється на силовому елементі кузова автомобіля за допомогою чотирьох болтів М12 класу міцності 10.9 згідно з ДСТУ ISO 4014-2013 і гайок класу міцності 10 за ДСТУ ISO 4032-2014. Відповідно до СП 16.13330.2011, розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом при розтягуванні, слід визначати за формулою:

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c \quad (3.7)$$

де R_{bt} - розрахунковий опір одноболтових з'єднань;

A_{bn} – площі перерізу різьбової частини нетто;

γ_c - коефіцієнт умов роботи.

$$R_{bt} = 415 \text{ Н/мм}^2;$$

$$A_{bn} = 76,2 \text{ мм}^2;$$

$$\gamma_c = 1,0$$

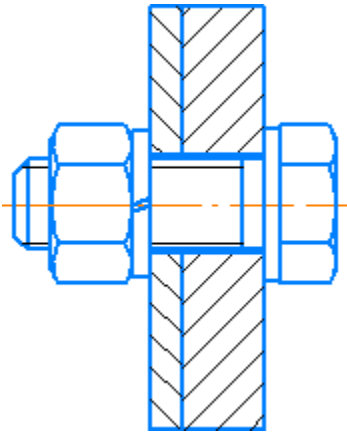


Рисунок 3.7 - Розрахункова схема болтового з'єднання

Розрахуємо максимальне зусилля для одного болта:

$$N_{bt} = 415 \cdot 76,2 \cdot 1,0 = 31623 \text{ (H)}$$

Для чотирьох болтів:

$$N_{bt} = 31632 \cdot 4 = 126492 \text{ (H)}$$

Для забезпечення міцності болтового з'єднання повинно виконуватися умова:

$$F_{max} \leq N_{bt} \quad (3.8)$$

$$6000 \text{ H} \leq 126492 \text{ H.}$$

Коефіцієнт запасу міцності:

$$n = \frac{P}{F} \quad (3.9)$$

$$n = \frac{126492}{6000} = 21,1$$

За результатами розрахунку умова міцності виконується, з'єднання має високий коефіцієнт запасу міцності, отже, його використання є безпечним.

Шток тягово-зчіпного пристрою фіксується від осевого переміщення за допомогою конусної гайки 2М24х2-6Н і шплінта. Це з'єднання піддається навантаженню на розтягування. Максимальне навантаження в з'єднанні виникає під час рушення автомобіля з місця, коли сили тяги автомобіля передаються через шток на причіп, створюючи значне розтягувальне зусилля.

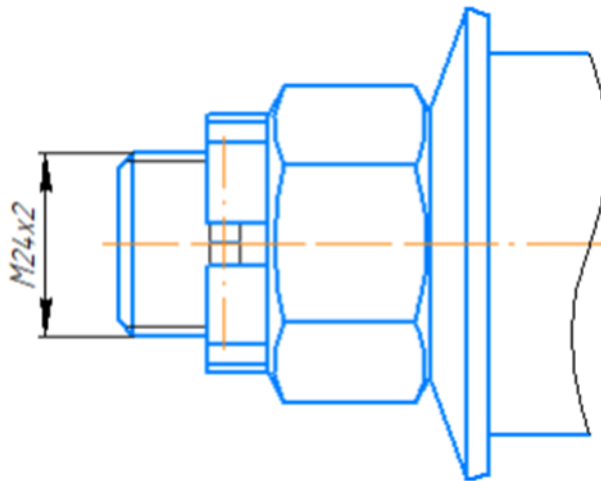


Рисунок 3.8 - Схема різьбового з'єднання

Розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом при розтягуванні слід визначати по формулі:

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c \quad (3.10)$$

де R_{bt} - розрахунковий опір одноболтових з'єднань;

A_{bn} – площа перерізу різьбової частини; 11,8 мм²;

γ_c - коефіцієнт умов роботи.

$$R_{bt} = 415 \text{ Н/мм}^2;$$

$$A_{bn} = 364,6 \text{ мм}^2;$$

$$\gamma_c = 1,0$$

Розрахуємо максимальне зусилля для різьбового з'єднання:

$$N_{bt} = 415 \cdot 364,6 \cdot 1,0 = 151309 \text{ (Н)}.$$

Для забезпечення міцності болтового з'єднання повинна виконуватися умова:

$$F_{max} \leq N_{bt} \quad (3.11)$$

$$6000 \text{ Н} \leq 151309 \text{ Н}.$$

Коефіцієнт запасу міцності:

$$n = \frac{151309}{6000} = 25,2$$

3.3 Конструкція зі змінним кутом нахилу шворня

Недолік описаного вище пристрою полягає в тому, що при повороті автопоїзда виникає силовий момент навколо осі шворня, який ускладнює складання автопоїзда, необхідне для здійснення повороту без ковзання коліс

причепа по поверхні дороги. Це негативно впливає на маневреність автопоїзда та знижує його безпеку під час експлуатації.

Технічна проблема полягає в тому, що кінематичні зв'язки у конструктивному рішенні прототипу, а також наявність нерегульованого нахилу шворня в поздовжній вертикальній площині в конструкції тягово-зчіпного пристрою не дозволяють зменшити силовий момент навколо осі шворня. Цей момент впливає на тяговий важіль під час повороту, створюючи опір повороту причепа і погіршуючи експлуатаційні характеристики автопоїзда.

Цю проблему можна вирішити шляхом встановлення на верхнє вухо вилки стабілізуючого ТЗП фланця з можливістю кутового та поздовжнього переміщення у горизонтальній площині. Це дозволило б регулювати кут нахилу осі повороту причепа, підвищуючи його маневреність і безпеку.

Стабілізуючий буксирний пристрій для одновісного причепа зі змінним нахилом шворня працює наступним чином. Передня частина 1 тягового важеля причепа приєднується до тягача 6 за допомогою буксирного пристрою (рис. 3.9). Під час прямолінійного руху верхній кінець шворня 4 нахилений від вертикалі до кузова 7 причепа (рис. 3.10) на величину, яка відповідає різниці між максимальним і мінімальним радіусами кулачка. Формально ця величина визначається підйомом штовхача кулачкового механізму.

Шип 12, закріплений на верхньому вусі 9 вилки-фланця 5, розташовується у пазу 11 кулачка 10 і контактує з вершиною кулачка (рис. 3.11). При цьому навантаження від кузова 7 причепа рівномірно розподіляється між ходовими колесами, забезпечуючи стабільність і ефективність роботи пристрою.

При виникненні бічних відхилень (вилянь) причепа під час прямолінійного руху тягача 6, тяговий важіль відхиляється відносно автомобіля-тягача 6, обертаючи нерухомо закріплений на передньому кінці 1 шворень 4. Шворень пов'язаний через кульковий шарнір 14 із кулачком 10.

Завдяки нахилу шворня 4 у поздовжній вертикальній площині поворот тягового важеля відносно автомобіля-тягача 6 відбувається як у горизонтальній, так і у вертикальній поперечній площинах. Під впливом сили тяжіння в буксирному пристрої виникає скручувальний момент, який діє на тяговий важіль уздовж його поздовжньої осі, утворюючи стабілізуючий момент навколо осі шворня 4. Цей момент повертає тяговий важіль у положення прямолінійного руху. У цей час шип 12 контактує з кулачком 10 у секторі з максимальним радіусом профільної поверхні кулачка, що забезпечує найбільший нахил шворня і створює стабілізуючий момент, необхідний для гасіння вагань причепа під час прямолінійного руху автопоїзда.

Під час повороту автопоїзда тяговий важіль обертається відносно автомобіля-тягача 6, повертаючи закріплений на передньому кінці шворень 4, який через кульковий шарнір 14 з'єднаний із кулачком 10 (рис. 3.12, 3.13). Взаємодія кулачка 10 з шипом, розташованим у профільному пазу 11 цього кулачка, призводить до зміщення кулачка 10 і пов'язаного з ним через кульковий шарнір 14 верхнього кінця шворня 4. Шворень, встановлений у поздовжньому прорізі 13 верхнього вуха 9 вилки-фланця 5, переміщується вперед у напрямку руху тягача 6. При цьому шворень 4, шарнірно закріплений у нижньому вусі 15, здійснює поворот у поздовжній вертикальній площині і осьове переміщення вниз відносно нижнього вуха 15 вилки-фланця 5.

Технічний результат полягає в тому, що зменшення кута нахилу шворня під час повороту автопоїзда дозволяє знизити силовий момент навколо осі шворня, який перешкоджає повороту причепа відносно тягача. Це полегшує умови виконання повороту автопоїзда, зменшує силові навантаження у зчіпному пристрої, знижує бічне ковзання коліс причепа на поворотах і зменшує знос шин.

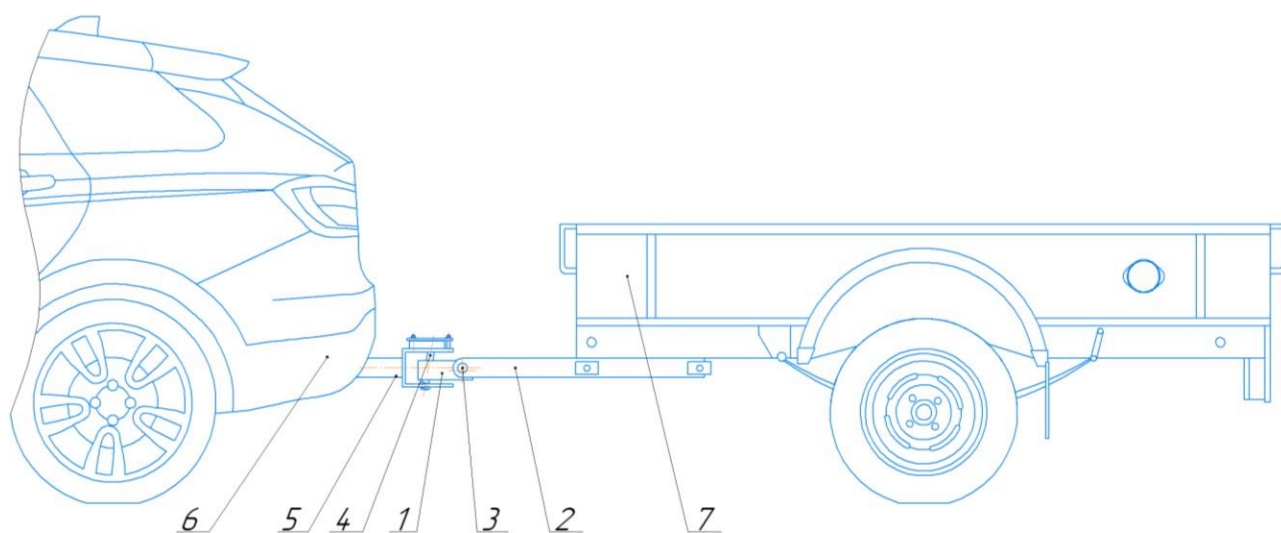


Рисунок 3.9 - Загальний вигляд конструкції

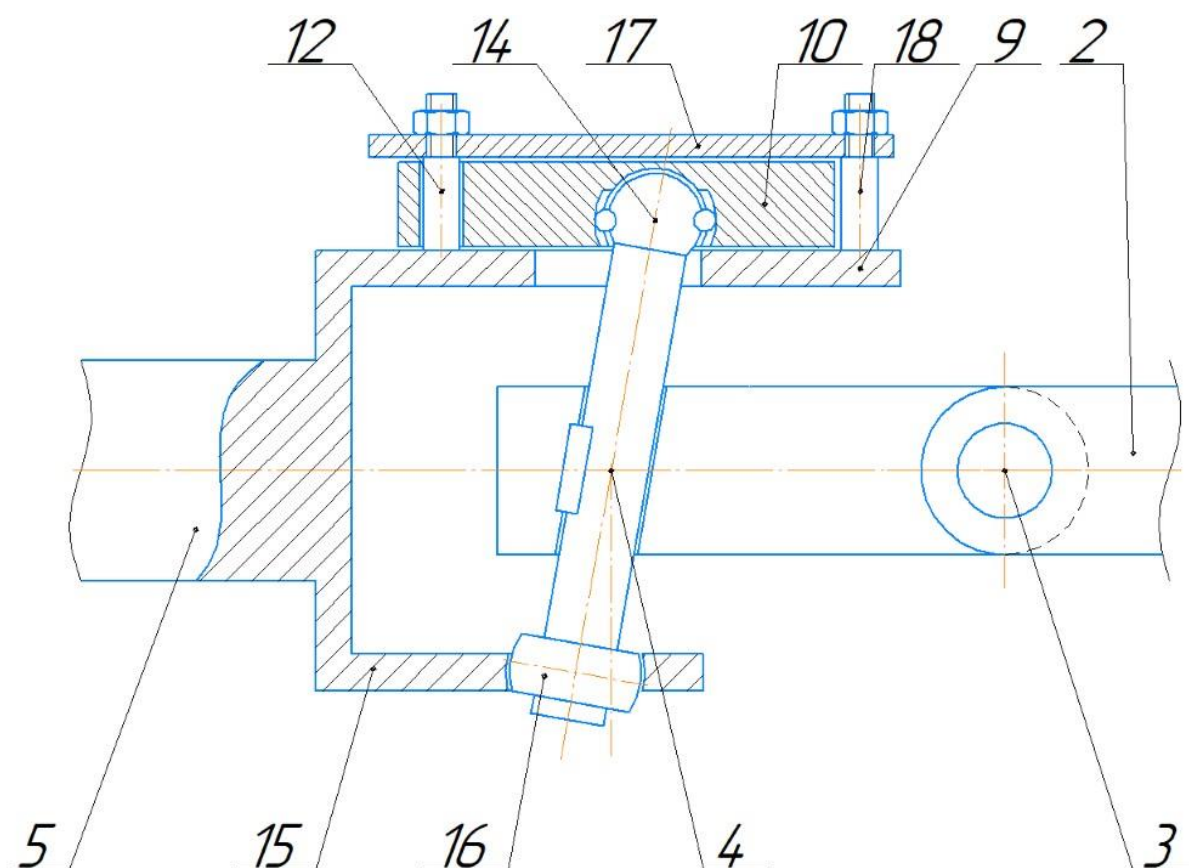


Рисунок 3.10 - Вигляд зліва

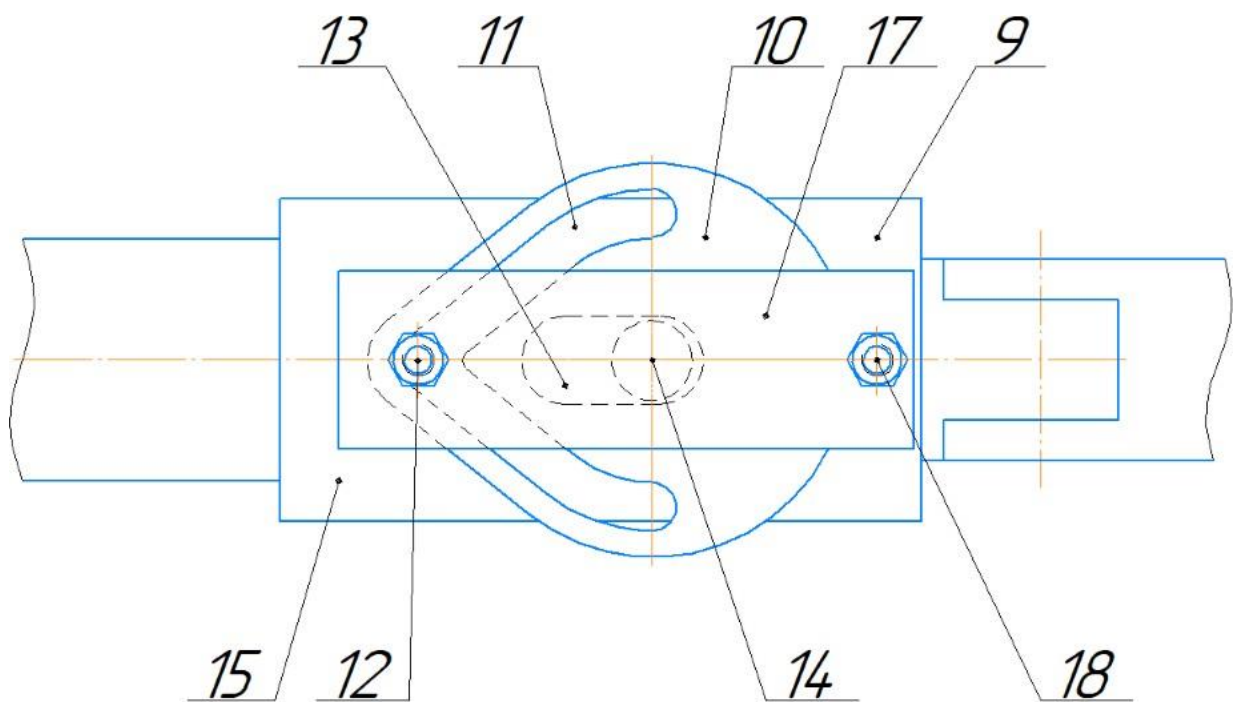


Рисунок 3.11 - Вигляд зверху

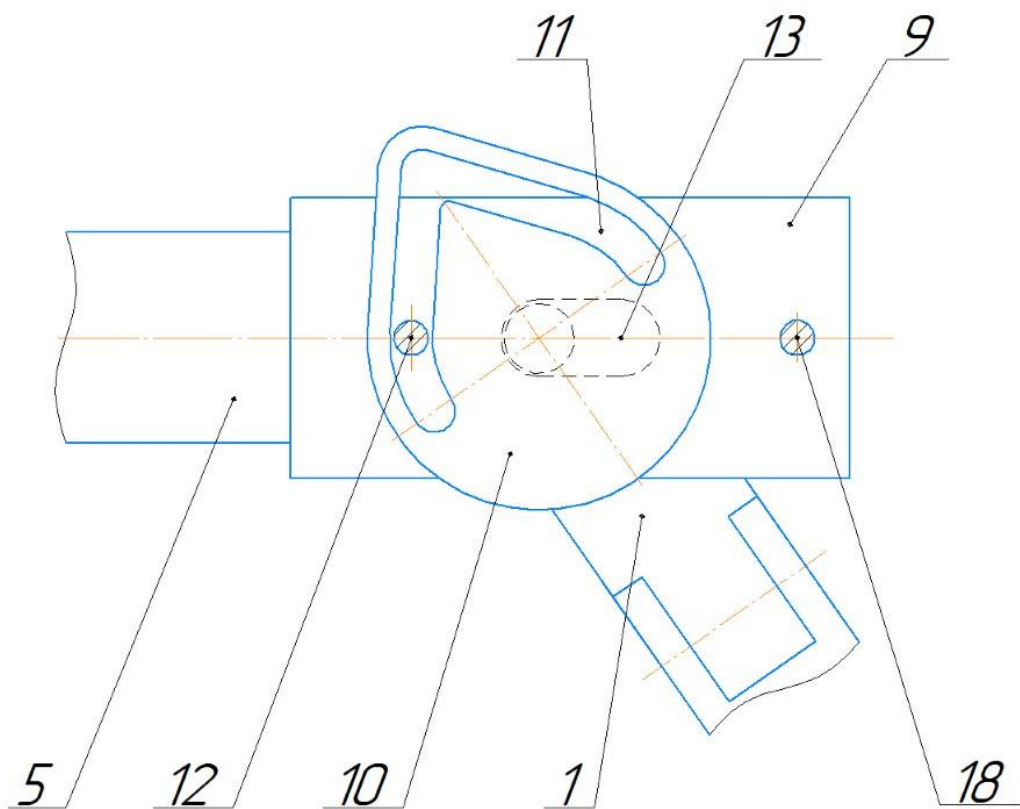


Рисунок 3.12 - Вигляд зверху на повороті

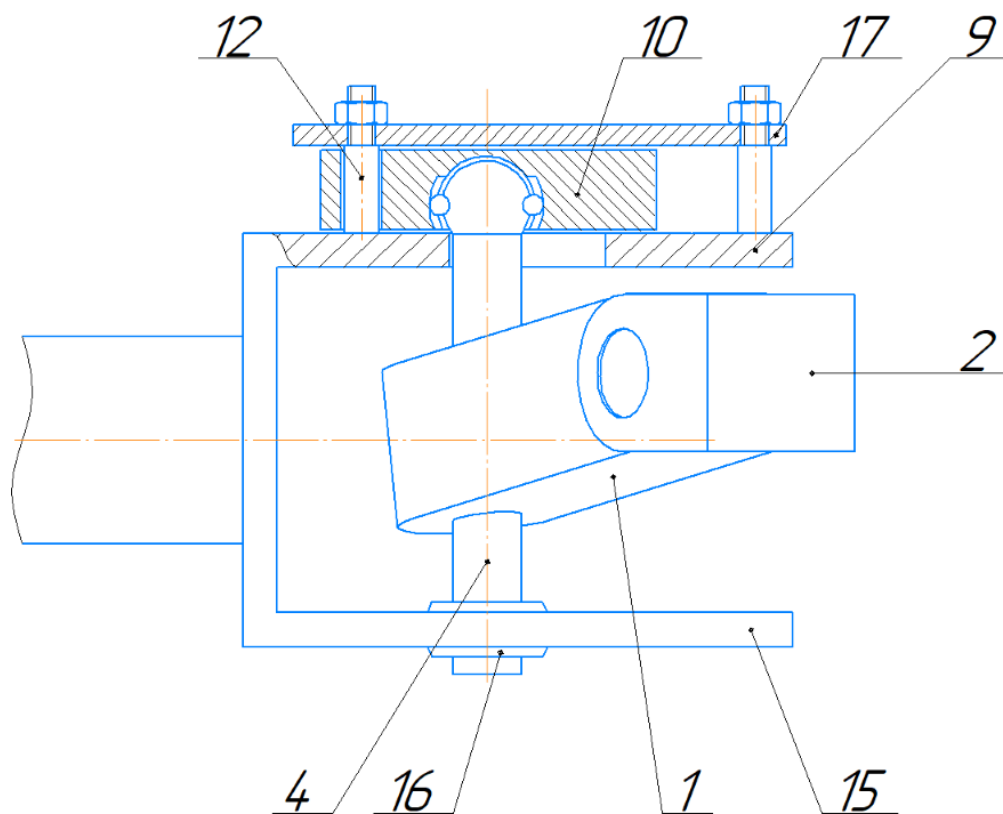


Рисунок 3.13 - Вигляд зліва на повороті

3.4 Створення реальної моделі зі стабілізуючим ТЗП

З метою візуалізації концепції та для перевірки і демонстрації принципу роботи стабілізуючого тягово-зчіпного пристрою (ТЗП) було створено діючий макет зчеплення. Основою моделі слугував дитячий автомобіль у масштабі, приблизно відповідному 1:24. Іграшка була модифікована, щоб відповідати принциповій конструкції розроблюваного ТЗП (рис. 3.14, рис. 3.15). У зчіпному механізмі використовувалася хрестовина: одна вилка хрестовини була похило закріплена на причепі, а інша - горизонтально на тягачі, що забезпечило нахил осі повороту причепа вперед під час руху (рис. 3.16, рис. 3.17). Було також виготовлено кілька варіантів деталей для налаштування різного кута нахилу хрестовини ТЗП.

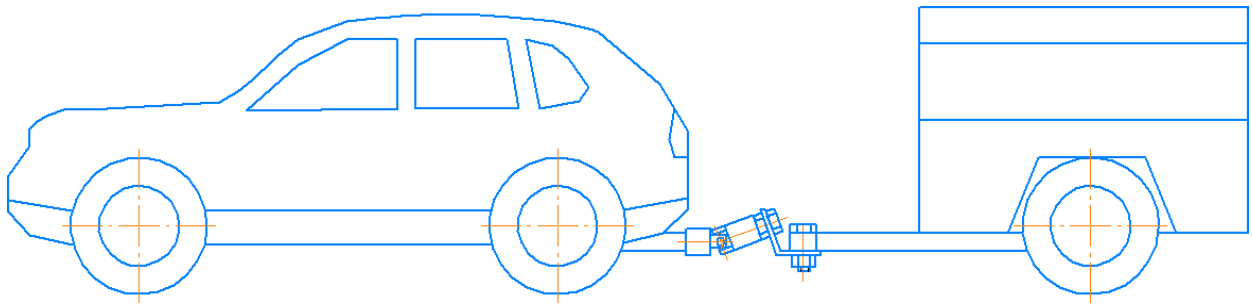


Рисунок 3.14 – Загальний вигляд моделі зчіпки

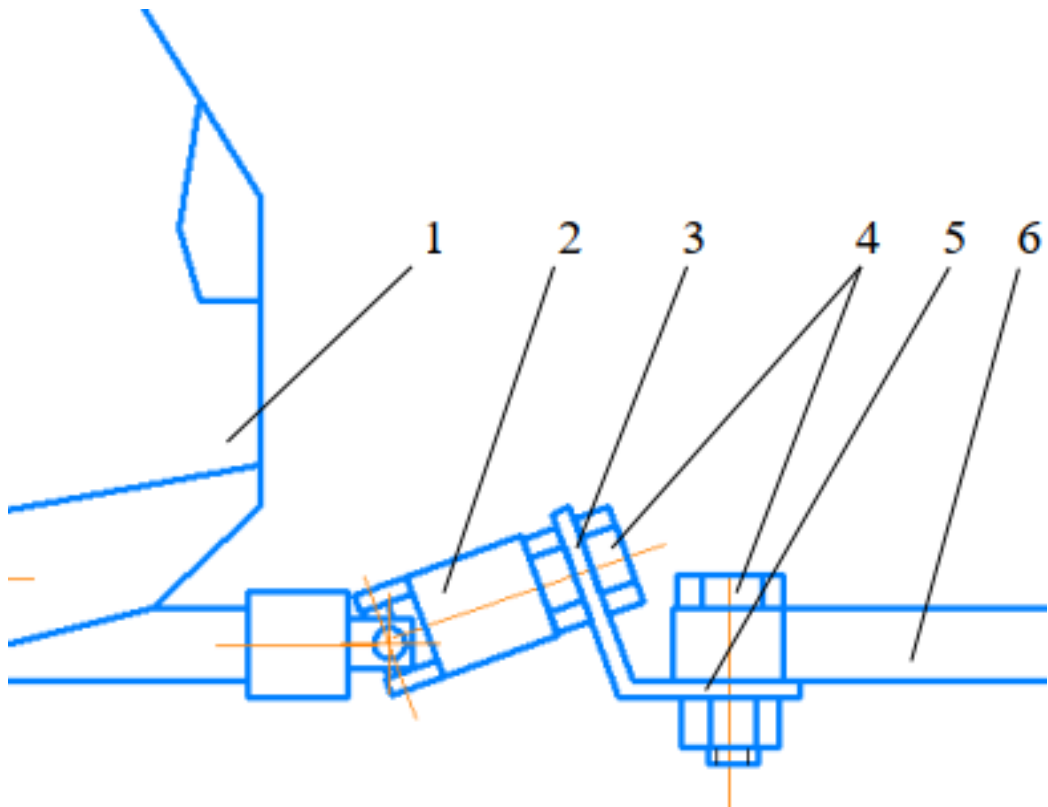


Рисунок 3.15- Схема моделі зчіпки: 1 - автомобіль-тягач; 2 -хрестовина;
3 - кронштейн ; 4 - болт з гайкою(2 шт.); 5 - дишель причепа; 6 - куточок з
заданим кутом нахилу



Рисунок 3.16 - Макет зчіпки



Рисунок 3.17 - Модель ТЗП

Побудований макет дозволяє наочно продемонструвати, що кінематика пристрою працює відповідно до початкового задуму: при повороті тягача навантаження передається на внутрішнє колесо причепа. Оскільки модель не оснащена пружною підвіскою, внутрішнє колесо причепа відривається від опорної поверхні. Водночас вага причепа прагне повернути його в горизонтальне положення, а зчіпка - вирівнятися, забезпечуючи стабілізацію системи.

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1. Математична модель тягово-зчіпного пристрою

Для більш глибокого аналізу роботи пристрою необхідно створити математичну модель зчеплення (рис. 4.1).

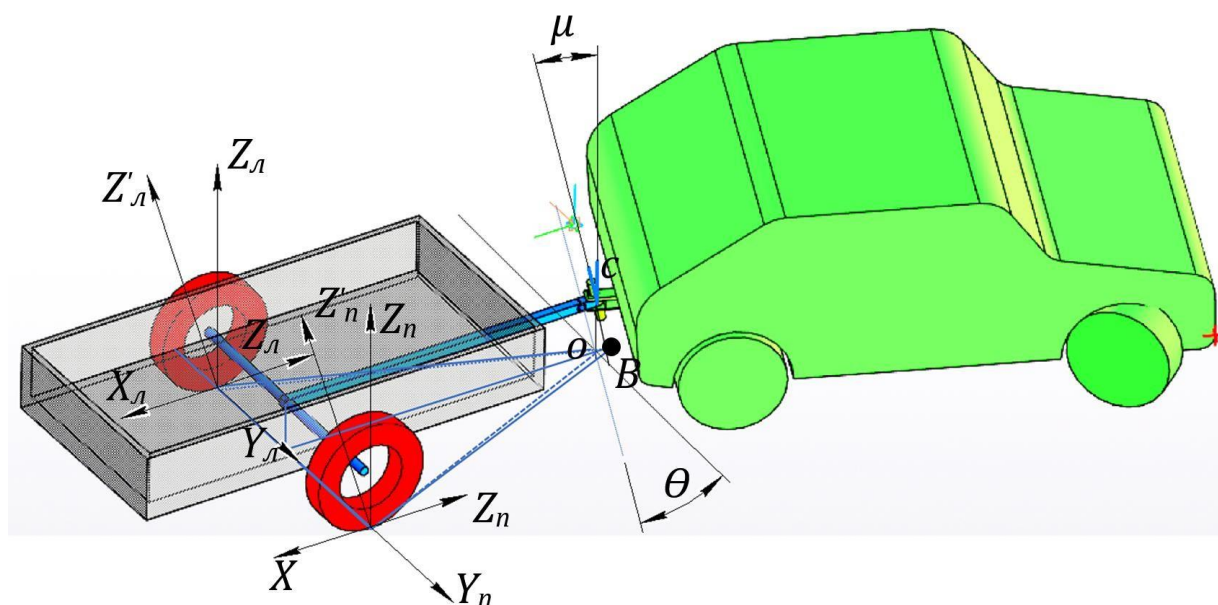


Рисунок 4.1 - Розрахункова схема

На колеса причепа при повороті діють наступні реакції:

X - дотична реакція дороги;

Y - поперечна реакція дороги;

Z_n - вертикальна реакція дороги.

Визначимо поперечну реакцію колеса, що діє вздовж ходової осі коліс

причепа. Для зручності визначення реакції Y , складових реакції Z_n , а також їхніх плеч для розрахунку моментів представимо рух ходової осі в формалізованому вигляді під час повороту праворуч (рис. 4.2) на кут θ від нейтрального положення. Поворот ходової осі відбувається в площині, нахилений на кут θ до горизонтальної поздовжньої осі причепа.

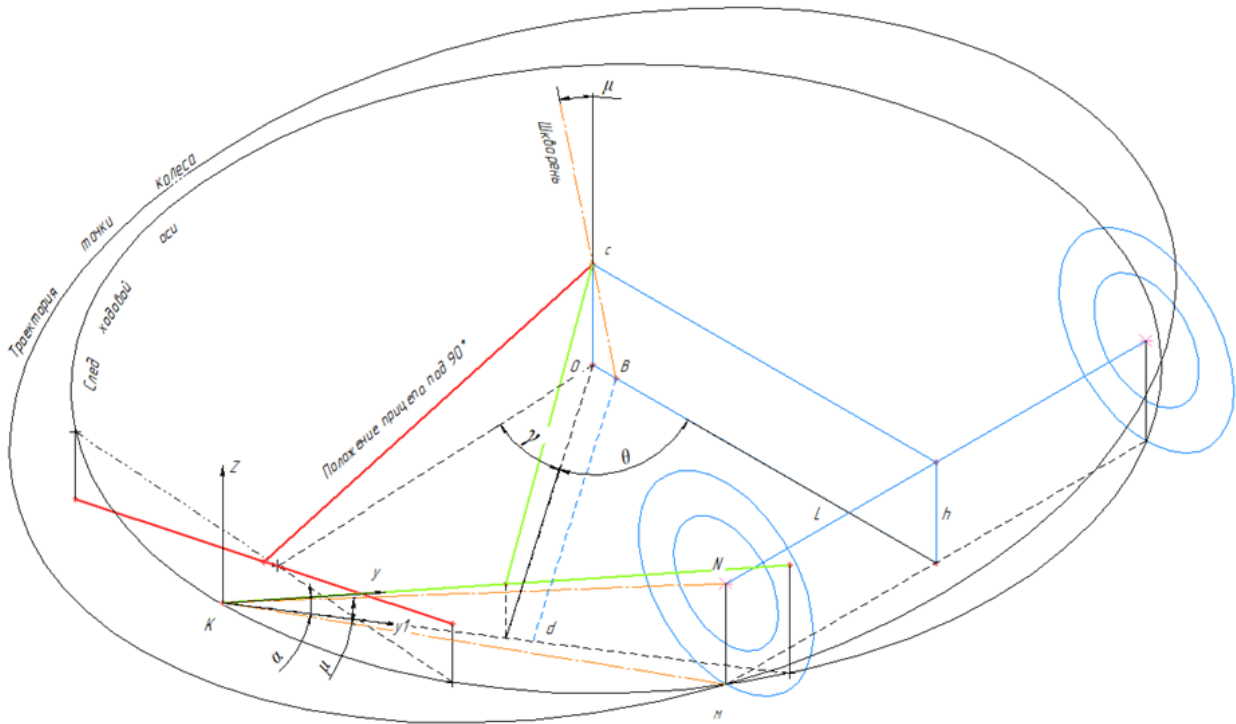


Рисунок 4.2 - До визначення моментів M_y , M_x , M_n від реакції дороги на внутрішнє до центру повороту колесо

При повороті ходової осі на кут θ відбувається її нахил на кут α до поверхні руху та підйом на висоту h від нейтрального положення. Відкладемо відрізок KM з точки контакту колеса з дорогою K перпендикулярно нейтральному стану ходової осі. Тоді з трикутника KNM

$$h = KN \cdot \sin \mu; \quad (4.1)$$

Враховуючи, що $KN = L \cdot \sin \theta$; де L – довжина півосі коліс переднього візка, отримаємо

$$h = L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu; \quad (4.2)$$

З трикутника KCO визначимо $\sin \alpha$ кута нахилу ходової осі коліс до горизонтальної площини

$$\sin \alpha = \frac{h}{L} = \frac{L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu}{L}; \quad (4.3)$$

$$\alpha = \arcsin(\sin \theta \cdot \sin \mu);$$

Плече Bd між точкою перетину осі шворня з площиною руху і напрямом складової реакції Y визначиться з трикутника OBd

$$Bd = OB \cdot \sin \gamma; \quad (4.4)$$

де γ - кут між проекцією ходової осі на повороті та відрізком BB , що з'єднує точку перетину шворня U та проекцію середини ходової осі. Враховуючи, що $\gamma = 90^\circ - \theta$ визначиться BB

$$OB = h \cdot \operatorname{tg} \mu; \quad (4.5)$$

$$Bd = h \cdot \operatorname{tg} \mu \cdot \sin(90 - \theta);$$

$$Bd = h \cdot \operatorname{tg} \mu \cdot \cos \theta; \quad (4.6)$$

Підставивши значення h

$$Bd = L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu \cdot \operatorname{tg} \mu \cdot \cos \theta; \quad (4.7)$$

Реакція Y вздовж ходової осі визначиться як складова реакції Z

$$Y = Z \cdot \sin \alpha; \quad (4.8)$$

Складова реакції Z_{Π} , що діє вздовж проекції ходової осі на площину руху Y_1 і спричиняє момент щодо точки B , визначиться

$$Y_1 = Z_{\Pi} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha; \quad (4.9)$$

Враховуючи вирази отримаємо:

$$Y_1 = Z_{\Pi} \cdot \sin \alpha \cdot \cos(\arcsin(\sin \theta \cdot \sin \mu)); \quad (4.10)$$

Для визначення моменту складової реакції Z_{Π} , що діє площині руху на колесо щодо точки поперечно півосі L , розкладемо її на силу Z_{Π} паралельну шворню (і тому не створюючи моменту щодо його осі) і силу $Z_{\Pi\mu}$, що знаходиться в площині дороги і паралельну лінії BB .

$$M_{Z_{\Pi}} = Z_{\Pi\mu} \cdot L \cdot \cos \theta; \quad (4.11)$$

$$Z_{\Pi\mu} = \operatorname{tg} \mu \cdot Z_{\Pi}; \quad (4.12)$$

$$M_{Z_{\Pi}} = L \cdot Z_{\Pi} \cdot \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \mu; \quad (4.13)$$

Для визначення моменту реакції X , що діє в площині руху на колесо відносно точки B визначимо плече Kd

$$Kd = od + oK; \quad (4.14)$$

З трикутника oBd визначиться od

$$od = \sqrt{(OB)^2 - (Bd)^2};$$

$$od = \sqrt{(L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu)^2 - (L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu \cdot \operatorname{tg} \mu \cdot \cos \theta)^2}; \quad (4.15)$$

OK рівне проекції півосі L

$$OK = L \cdot \cos \alpha; \quad (4.16)$$

В результаті отримаємо плече Kd

$$Kd = \sqrt{(L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu)^2 - (L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu \cdot \operatorname{tg} \mu \cdot \cos \theta)^2} +$$

$$[L \cdot \cos(\arcsin(\sin \theta \cdot \sin \mu))]; \quad (4.17)$$

Дотична реакція дороги X визначиться як

$$X = Z_{\Pi} f, \quad (4.18)$$

де f - коефіцієнт опору коченню колеса.

З врахуванням отриманих виразів реакцій XZY і їх плечей щодо точки B отримаємо моменти

$$M_y = L \cdot Z_{\Pi} \cdot \sin^2 \theta \cdot \sin^2 \mu \cdot \cos(\arcsin(\sin \theta \cdot \sin \mu)) \cdot \operatorname{tg} \mu \cdot \cos \theta; \quad (4.19)$$

$$M_x = Z_{\Pi} \cdot f \cdot \sqrt{(L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu)^2 - (L \cdot \sin \theta \cdot \sin \mu \cdot \operatorname{tg} \mu \cdot \cos \theta)^2}$$

$$\cos(\arcsin(\sin \theta \cdot \sin \mu)); \quad (4.20)$$

$$M_{z\Pi} = L \cdot Z_{\Pi} \cdot \cos \theta \cdot \operatorname{tg} \mu; \quad (4.21)$$

4.2. Дослідження стабілізуючих моментів

На колесо, оснащене еластичною шиною, діє також момент опору повороту шини M_k який виникає внаслідок зміщення реакцій X і Y від центру контакту при відхиленні колеса. Момент M_k опору повороту шини беремо з експериментальних даних досліджень. Графік залежності M_k від кута повороту θ представлений на рис. 4.3.

Розглянемо характер змін стабілізуючих моментів M_z , M_x , M_y , підставивши деякі приблизні дані. Під час розрахунків приймаємо такі припущення: абсолютно жорстка підвіска причепа, відсутність крутильних деформацій рами причепа, відсутність бокового уведення шин. Кут поздовжнього нахилу уявного шворня приймаємо рівним 15° для більш наочної візуалізації. Для прикладу візьмемо причеп масою 1000 кг і з колією 1,2 м.

За прийнятих умов поворот передньої колісної теліжки внаслідок нахилу ходової осі на кут α супроводжується відривом колеса, розташованого зовні від центру повороту, від поверхні дороги. Уся навантаження від ваги причепа на передню теліжку перерозподіляється на колесо, що знаходиться ближче до центру повороту. В експлуатації автопоїздів такий випадок не є типовим, оскільки наявність пружинної підвіски, крутильна жорсткість рами та еластичність коліс забезпечують постійний контакт із дорогою.

На рис. 4.3 показано залежності моментів M_z , M_x , M_y , $M_{ш}$, а також сумарного моменту стабілізації коліс $M_{ст}$ від кута повороту Θ причепа. Приймаємо, що момент реакції Y , який діє вздовж ходової осі, має від'ємне значення, оскільки напрямок дії сили Y створює момент, що протидіє діям моментів M_z , M_x , $M_{ш}$, які формують сумарний момент стабілізації $M_{ст}$.

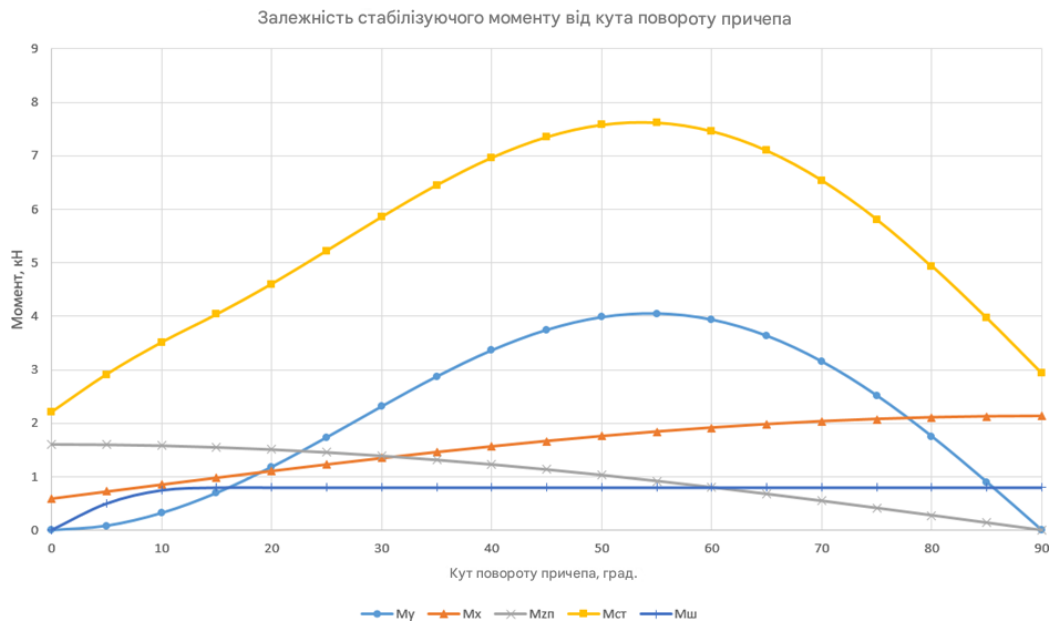


Рисунок 4.3 - Стабілізуючий момент і його складові

Аналіз отриманих залежностей показує, що нахил осі повороту одновісного автомобільного причепа створює при повороті комбінацію сил і моментів, які прагнуть повернути причеп у положення прямолінійного руху (нейтральне положення). Іншими словами, виникає стабілізуючий вплив на причеп.

Графіки також свідчать, що зі збільшенням кута повороту причепа відносно тягача момент стабілізації зменшується. Це можна вважати позитивним явищем, оскільки поворот на малому радіусі зазвичай відбувається на низьких швидкостях, головним чином під час маневрування, і в таких випадках стабілізуючий вплив лише перешкоджає би руху.

Під час прямолінійного руху цей стабілізуючий ефект дозволяє покращити такий експлуатаційний показник, як стійкість прямолінійного руху. Крім того, стабілізація зменшує ризик виникнення коливань (розгойдування) причепа відносно обраного напрямку руху та сприяє ефективнішому їхньому усуненню. Підвищення стійкості прямолінійного руху забезпечує безпечнішу експлуатацію автомобільних поїздів.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці при розробці та виготовленні ТЗП

Охорона праці є важливою складовою будь-якого виробничого процесу, і розробка та виготовлення тягово-зчіпного пристрою для одновісного автомобільного причепа не є винятком. Згідно з чинним законодавством України у сфері охорони праці, всі роботи повинні виконуватись відповідно до стандартів і правил, спрямованих на забезпечення безпеки працівників, збереження їх здоров'я та створення сприятливих умов праці.

Розробка та виготовлення тягово-зчіпного пристрою вимагають організації спеціального робочого місця з урахуванням вимог до технічного оснащення. Робоче місце повинно бути обладнане відповідними верстатами, засобами для роботи з металом (зварювальними апаратами, пресами для згинання листового металу), а також необхідними засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) [8, 9].

До засобів індивідуального захисту належать:

- Зварювальні маски та захисні окуляри для роботи з металом;
- Рукавички з негорючих матеріалів, які захищають руки від опіків та механічних ушкоджень;
- Спеціальний робочий одяг та взуття, що забезпечують безпеку під час роботи зі зварювальним та металообробним обладнанням.

Зварювальні роботи є потенційно небезпечними через високі температури та електричні ризики. Усі працівники, які виконують

зварювальні роботи, повинні пройти спеціальне навчання з техніки безпеки та мати відповідні кваліфікаційні документи. При роботі з електрообладнанням необхідно дотримуватись таких правил [8, 9]:

- Перед початком роботи перевірити справність електричних з'єднань і заземлення обладнання.
- Заборонено працювати з пошкодженим обладнанням або проводами.
- При роботі у вологих умовах або при підвищеній вологості необхідно використовувати додаткові ізоляційні засоби.

Металообробні роботи супроводжуються підвищеним рівнем шуму та вібрації, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Вимірювання рівня шуму та вібрації повинні здійснюватися регулярно. У разі перевищення допустимих норм слід використовувати шумопоглинальні матеріали, а також обладнання з амортизаційними елементами. Працівники мають бути забезпечені захисними навушниками або вставками для зменшення впливу шуму.

Адекватне освітлення робочих місць є важливим фактором для забезпечення безпечних умов праці, особливо під час виконання робіт із високою точністю, як-от зварювання чи обробка металевих деталей. Виробничі зони повинні бути обладнані системами основного та додаткового (локального) освітлення, які відповідають встановленим нормам. Мінімальний рівень освітленості має забезпечувати комфортне виконання завдань і запобігати виникненню травматизму.

Для комфортної та безпечної роботи важливо підтримувати оптимальний мікроклімат у приміщенні. Температура повітря, вологість та рівень вентиляції повинні відповідати санітарним нормам. Робочі зони, де виконуються зварювальні та металообробні роботи, мають бути обладнані системами вентиляції для видалення шкідливих газів, пилу та диму. Забезпечення правильної вентиляції знижує ризик захворювань дихальних шляхів і підвищує загальний рівень безпеки.

5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Безпека в надзвичайних ситуаціях є важливою складовою захисту працівників та збереження майна підприємства. Під час проектування і виготовлення тягово-зчіпного пристрою необхідно передбачити можливі ризики та забезпечити готовність до надзвичайних ситуацій, таких як пожежі, витік газу, травмування працівників тощо.

Пожежна безпека має особливе значення при роботі з легкозаймистими матеріалами та зварювальними установками. Робочі зони повинні бути обладнані протипожежними засобами, такими як вогнегасники (порошкові або вуглекислотні), а також пожежними щитами з пісочними баками та пожежними покривалами. У приміщенні має бути чітка схема евакуації на випадок пожежі.

Основні заходи протипожежної безпеки включають [8, 9]:

- Регулярні інструктажі з пожежної безпеки для всіх працівників.
- Постійний контроль за справністю протипожежного обладнання.
- Заборону куріння та використання відкритого вогню в небезпечних зонах.

У разі виникнення надзвичайної ситуації (пожежі, витоку газу, обвалу конструкцій) усі працівники повинні знати порядок евакуації та дій для забезпечення безпеки. Необхідно мати чітко визначені шляхи евакуації, а також спеціально підготовлені місця для збору персоналу.

Порядок дій у разі пожежі:

- негайно повідомити керівництво та викликати пожежну службу.
- Вивести працівників із небезпечної зони, використовуючи найближчі виходи.
- Припинити роботу з електрообладнанням та, за можливості, знеструмити приміщення.

- Використовувати засоби пожежогасіння для локалізації джерела загоряння до прибуття пожежників.

На виробництві має бути організовано доступ до аптечок першої допомоги, які містять усе необхідне для надання екстреної медичної допомоги. Працівники повинні бути ознайомлені з розташуванням аптечок і пройти навчання з надання першої медичної допомоги при травмах, опіках, ураженні електричним струмом тощо. У разі травмування одного з працівників інші повинні вміти швидко та правильно надати допомогу до прибуття медиків.

Важливо мати чіткий план евакуації для всіх приміщень, де проводяться роботи з виготовлення тягово-зчіпного пристрою. Евакуаційні виходи повинні бути завжди вільними, а маршрути евакуації — чітко позначеними та зрозумілими для всіх працівників. Необхідно регулярно проводити навчання з евакуації, під час яких працівники відпрацьовують швидкий і організований вихід із небезпечної зони.

Особливу увагу слід приділити заходам безпеки при роботі з електрообладнанням. Для цього використовуються такі запобіжні заходи [8]:

- Перевірка електропроводки та розподільних щитів перед початком роботи.

- Використання тільки справних електроінструментів, ізоляція пошкоджених дротів і захист від ураження струмом.

- Встановлення аварійних вимикачів, які легко доступні для працівників.

Для зниження ризиків та захисту працівників у разі аварійних ситуацій (наприклад, витоку небезпечних речовин або вибуху) слід забезпечити наявність відповідного аварійного обладнання. Це можуть бути захисні маски, фільтри для дихання, евакуаційні сходи тощо. Всі працівники мають бути ознайомлені з їхнім використанням та розташуванням.

Окрім технічних заходів, важливо підвищувати загальний рівень культури безпеки на підприємстві. Це передбачає регулярні семінари,

інструктажі та мотиваційні програми для працівників. Кожен працівник має усвідомлювати свою відповідальність за безпеку, дотримуватись встановлених правил і прагнути запобігати небезпечним ситуаціям.

Для зниження ризиків та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій необхідно регулярно проводити навчання і тренування працівників, включаючи інструктажі з охорони праці та безпеки. Такі заходи сприяють збереженню здоров'я та життя працівників і зменшенню матеріальних збитків у випадку небезпечних подій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз типів та компоновальних схем автопоїздів показав, що динамічна стійкість автопоїзда значною мірою залежить від конструктивних особливостей тягово-зчіпних пристроїв (ТЗП) та правильної організації динамічного коридору, особливо при маневруванні на високих швидкостях.

2. Існуючі ТЗП, такі як кульові та гакові зчіпки, мають свої переваги та недоліки, але жоден із них не може забезпечити достатню стабільність і безпеку для сучасних автопоїздів у складних умовах експлуатації. Це підкреслює важливість розробки нових рішень для підвищення стійкості.

3. Принцип нахилу осі повороту широко використовується у транспортній техніці, що підтверджує його ефективність для поліпшення стійкості і керованості. Запропонована конструкція ТЗП зі змінним кутом нахилу шворня забезпечує стабілізацію причепа під час руху, знижуючи ризик виникнення поперечних коливань.

4. Створення та випробування моделі стабілізуючого ТЗП підтвердили правильність теоретичних розрахунків і ефективність нового рішення. Модель продемонструвала здатність зменшувати навантаження на зчіпку та підвищувати стійкість автопоїзда при прямолінійному русі.

5. Розроблена математична модель дозволяє точно аналізувати вплив різних параметрів на стабілізуючі моменти і дає можливість оптимізувати конструкцію ТЗП для забезпечення максимальної безпеки руху.

6. Запропоноване рішення підвищує безпеку руху автомобільних поїздів, зменшує знос шин і покращує загальні експлуатаційні характеристики автопоїзда. Це відкриває перспективи для впровадження стабілізуючих ТЗП у практику, особливо в умовах інтенсивної експлуатації легкових автомобілів із причепами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lyashuk, O., Serilko, L., Hevko, I., Serilko, D., Lutsiv, I., Vovk, Y., ... & Tson, O. (2022). The investigation of a physical pendulum motion, which move along a horizontal axis. Bulletin of the Karaganda University" Physics Series", 106(2), 75-85.
2. Sakhno, V., Poliakov, V., Lyashuk, O., Murovanyi, I., Stelmashchuk, V., Onyschuk, V., ... & Rozhko, N. (2023). To the comparative evaluation of three-unit lorry convoys of the different component systems by maneuverability. Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska.
3. Sakhno, V., Polyakov, V., Murovany, I., Sharai, S., Lyashuk, O., Plekan, U., & Sokol, M. (2023). Stability of the Two-Link Metrobus. COMMUNICATIONS, 25(2), B77-B85.
4. Артюх, О. М. (2023). Математичне моделювання робочих процесів колісних транспортних засобів з використанням пакету прикладних програм для вирішення завдань технічних обчислень MATLAB (Doctoral dissertation, НУ «Запорізька політехніка).
5. Бегерський, Д. Б., Вітюк, І. В., Коваль, А. О., & Цимбал, С. В. (2024). Вплив геометричних параметрів автопоїзда на його аеродинамічні характеристики. Вісник машинобудування та транспорту, 18(2), 10–15. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-10-15>.
6. Вакулюк, М. Ф., & Люлев, А. А. (2017). Інноваційні технології керування поворотом та курсовим рухом триланкових машин з двома одновісними причепами, приєднаними шарнірно до тягача попереду або позаду.
7. Гандзюк, М., & Гандзюк, Д. (2021). Вплив експлуатаційних факторів та конструктивних параметрів малотонажних автомобільних поїздів на міцність і надійність рам одновісних причепів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 1(16), 36-45.

8. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с.

9. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.

10. Орисенко, О. В., Шаповал, М. В., & Скорик, М. О. (2021). Дослідження впливу вертикальних коливань центра ваги причіпної ланки на автомобіль-тягач автопоїзда категорії М1.

11. Патент № 155001, Україна, МПК G01N17/00. Стенд для дослідження характеристик підвіски автомобіля / Ляшук О.Л.; Хорошун Р.В.; Гевко І.Б.; Гудь В.З.; Левкович М.Г.; Гевко Б.Р.; Матвійшин А.Й.; Цьонь О.П.; Слободян Л.М.; Навроцька Т.Д. № u202302465; опубл. 10.01.2024, бюл. № 2/2024.

12. Сахно, В. П., Кузнєцов, Р. М., Стельмашук, В. В., & Пазин, Р. В. (2018). Маневреність автопоїзда з причепами категорії О1, О2. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, (1), 102-111.

13. Сахно, В. П., Шарай, С. М., Мурований, І. С., Онищук, В. П., & Човча, І. В. (2022). Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на стійкість руху автопоїзда з причепом категорії О1.

14. Сахно, В., Мурований, І., Онищук, В., Стельмашук, С., & Вінцюк, М. (2024). До визначення стійкості руху автомобіля з причепом категорії о2 у гальмівному режимі. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 1(22), 296-306.

15. Скорик, М. О. (2018). Динамічне дишло для одноосного причепа VN–20 як пружна ланка тягово-зчіпного пристосування легового автопоїзда категорії М1.

16. Скорик, М. О., & Орисенко, О. В. (2017). Удосконалення тягово-зчіпного пристрою автопоїзда категорії М1.

17. Victor Aulin, Oleg Lyashukb, Serhii Lysenkoa, Oleg Tson, Andrii Hrynkiy, Natalia Rozhko. Extension of the service term of the resource-determining elements of vehicle units based on the artificial neural network model of their defects. VII International Conference “In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction (DMDP 2023) Procedia Structural Integrity 59 (2024) 436–443 E-ISSN:2452-3216

18. Victor Aulin, Oleg Lyashuk, Andrii Gupka, Oleg Tson, Mironov Dmitro, Mariana Sokol, Roman Leshchuk, Igor Yarema. Tribodiagnosis of the surface damage of tribo-coupling parts materials during machine operation. Procedia Structural Integrity. Volume 59, 2024, Pages 428-435.

19. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т. А. Довбуш , Н. І. Хомик, А. В. Бабій, Г. Б. Цьонь, А. Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.